

VŠB – Technická Univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Experimentální testování vrtáku DC170 s unikátní geometrií
a obvodovými drážkami pro odvod procesní kapaliny

Experimental Testing of the Drill DC170 with a Unique Geometry
and Circumferential Grooves Drain for Process Fluid

Student:

Bc. Tomáš Adamec

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Adamec**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: Experimentální testování vrtáku DC170 s unikátní geometrií a
obvodovými drážkami pro odvod procesní kapaliny
Experimental Testing of the Drill DC170 with a Unique Geometry and
Circumferential Grooves Drain for Process Fluid

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Popis nástroje, rozbor problematiky vrtání a jeho současný stav.
3. Návrh experimentu.
4. Experimentální měření a zhodnocení.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [2] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [3] POPEOVÁ, V. *Monitorovanie opotrebenia rezných nástrojov*. Žilina : Vydavateľstvo ŽU EDIS Žilina, 2001. ISBN 80-7100-700-5.

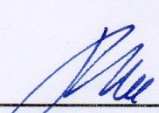
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Pagáč, Ph.D.**

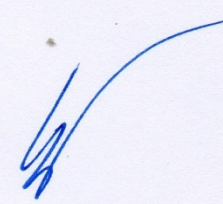
Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016





doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry

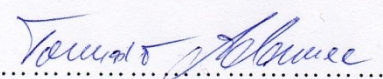


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

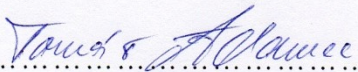
V Ostravě: 15. 5. 2016
.....


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 15. 5. 2016


.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Tomáš Adamec

Adresa trvalého pobytu autora práce:

B. Václavka 1016/21, 700 30 Ostrava

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. ADAMEC, T. *Experimentální testování vrtáku DC170 s unikátní geometrií a obvodovými drážkami pro odvod procesní kapaliny*: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2016. 70 s., Vedoucí práce: Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá experimentálním testováním vrtáku DC170 s unikátní geometrií a obvodovými drážkami pro odvod procesní kapaliny. Cílem diplomové práce je porovnat dva vrtáky od jedné firmy a na experimentálním testu ukázat výhody nového vrtáku. Úvodní část práce se zabývá historií a současností firem Günther & Co. GmbH a Walter AG, popisem vrtáku a rozбором problematiky hlubokého vrtání. V experimentální části jsou uvedeny naměřené a vypočtené hodnoty parametrů drsnosti povrchu s jejich vyhodnocením. Dále jsou uvedeny hodnoty týkající se vrtáků v procesu experimentálního vrtání společně s technicko-ekonomickým zhodnocením. V závěru práce jsem provedl celkové vyhodnocení dosažených výsledků.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Bc. ADAMEC, T. *Experimental Testing of the Drill DC170 with a Unique Geometry and Circumferential Grooves Drain for Process Fluid*: Master Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2016. 70 p., Thesis supervisor: Ing. Marek Pagáč, Ph.D.

The Master Thesis deals with experimental testing of the drill DC170 with a unique geometry and circumferential grooves drain for process fluid. The aim of this thesis is to compare two drills, both coming from the same company and to show advantages of the new one through the experimental testing. Introductory part of the thesis represents the history and present of Günther & Co. GmbH and Walter AG companies, description of the drill and analysis of deep hole drilling. The experimental part shows measured, calculated and evaluated values of surface roughness parameters. Results concerning to drills in the process of experimental drilling are mentioned in the next part together with technical and economical appraisal. At the end of the work is carried out assessment of the results.

Seznam použitých značek a symbolů	6
1 Úvod	7
1.1 TEC – Titex Electronic Catalog	8
2 Popis nástroje, rozbor problematiky vrtání a jeho současný stav	10
2.1 Vrtání.....	10
2.2 Vrták.....	10
2.3 Konstrukce vrtáků	11
2.4 Upínání vrtáků.....	12
2.5 Opotřebení vrtáků.....	13
2.6 Technologie vrtání hlubokých otvorů	16
2.7 Nástroje pro hluboké vrtání.....	17
3 Návrh experimentu.....	20
3.1 Schéma experimentu	20
3.2 Obráběný materiál	22
3.3 Obráběcí stroj	22
3.4 Popis vrtáků.....	23
3.5 Strategie vrtání hlubokých otvorů $16 \times D <$ nástroji Walter Titex	29
3.6 Řezné podmínky.....	31
3.7 Výpočet strojního času vrtání.....	31
3.8 NC kódy a ukázka programu vrtání	32
3.9 Průběh experimentu	33
4 Experimentální měření a zhodnocení	35
4.1 Průběh měření opotřebení	35
4.2 Přístroje k měření opotřebení	35
4.3 Popis mikroskopů.....	37
4.4 Vyhodnocení opotřebení nástrojů měřením	39
4.5 Měření parametrů drsnosti povrchu ve vyvrtaných otvorech	43
4.6 Použité zařízení pro měření parametrů drsnosti povrchu.....	43
4.7 Parametry drsnoměru	44
4.8 Naměřené hodnoty parametrů drsností povrchů	45
5 Technicko-ekonomické zhodnocení	51
5.1 Pořizovací cena nástrojů	51
5.2 Přeoštění nástrojů a jejich životnost	51
5.3 Náklady na přeoštění a povlakování nástrojů	51

5.4	Cena jednoho vyvrtaného otvoru ve vztahu k trvanlivosti a životnosti nástroje ..	52
6	Závěr	56
7	Použitá literatura a elektronické zdroje	59
8	Seznam příloh	62

Seznam použitých značek a symbolů

ANSI	American National Standards Institute	[–]
ČSN	Česká státní norma	[–]
D	obráběný průměr obrobku	[mm]
DIN	Německá státní norma	[–]
f	posuv	[mm]
HSC	High Speed Cuting	[–]
ISO	International Organization for Standardization	[–]
JIS	Japanese Industrial Standards	[–]
n	otáčky	[min ⁻¹]
R _a	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	[μm]
R _z	největší výška profilu	[μm]
s (x)	směrodatná odchylka	[μm]
TFT	povlak Tinal FUTURA TOP	[–]
TFP	povlak špičky Tinal FUTURA TOP	[–]
uA	standardní nejistota typu A	[μm]
uB	standardní nejistota typu B	[μm]
uB1	nejistota vlivu opěrné patky snímacího hrotu	[μm]
uB2	nejistota měřicího přístroje	[μm]
v _c	řezná rychlost	[m · min ⁻¹]
v _f	posuvová rychlost	[mm · min ⁻¹]
λ _c , λ _f , λ _s	filtr profilu	[–]

1 Úvod

Oblast vrtání je jedna z nejnáročnějších průmyslových aplikací. Vrtání oproti jiným způsobům obrábění má některá specifika, z nichž nejzávažnější je proměnlivá řezná rychlost podél hlavního ostří nástroje, špatný odvod třísek z místa řezu a zhoršený přístup procesní kapaliny k místu řezu.

Pod pojmem hlubokého vrtání si každý představí něco jiného. Pro někoho hluboké vrtání znamená vrtání do hloubky $10 \times D$, pro někoho je to vrtání $30 \times D$ a někomu nedělá problém vrtání třeba $100 \times D$. Ve všeobecném strojírenství ze 70 % převažují otvory do $5 \times D$, 20 % je do $10 \times D$ a zbytek jsou delší otvory.

Na konci devadesátých let minulého století bylo zcela běžné, že nabídka celokarbidových šroubových vrtáků končila u délky $5 \times D$. V roce 2003 uvádí firma Günther & Co. GmbH na trh vrtáky ze slinutého karbidu pro vrtání hlubokých děr v délkách $8 \times D$ a o půl roku později vrták v délce tehdy oslnivých $12 \times D$ pod obchodní značkou TITEX PLUS Präzisionswerkzeuge. Tyto vrtáky umožňovaly produktivní vrtání bez přerušení posuvu a často bořily zažitě zvyklosti vrtání s cyklováním, tedy vyjížděním nástroje z obráběného otvoru či přerušováním posuvu. Dalším mezníkem byl rok 2005 a veletrh EMO v Hannoveru, kde firma Günther & Co. GmbH poprvé představila technologii XD a vrtáky v délkách $16 \times D$, $20 \times D$, $25 \times D$ a $30 \times D$. A v roce 2011 poprvé spatřil světlo světa vrták v délce $70 \times D$.

Tato diplomová práce je zaměřena na nástroj DC 170, symbol nové výkonové třídy vrtáku ze slinutého karbidu společnosti Walter AG. Díky této společnosti jsme měli možnost otestovat nejenom tento nástroj, ale také nástroj starší generace. Cílem bylo ukázat na konkrétním příkladu hlubokého vrtání, jaký pokrok nástroje udělaly od roku 2005. Týká se to nejenom materiálů, z nichž jsou nástroje vyrobeny, ale také povlaku a řezné geometrie. Ale nejvýraznějším prvkem nového nástroje je jeho konstrukce, design a povrchová úprava. A právě tyto charakteristické vlastnosti měly potvrdit vyšší životnost nástroje v provedeném testu na akademické půdě...

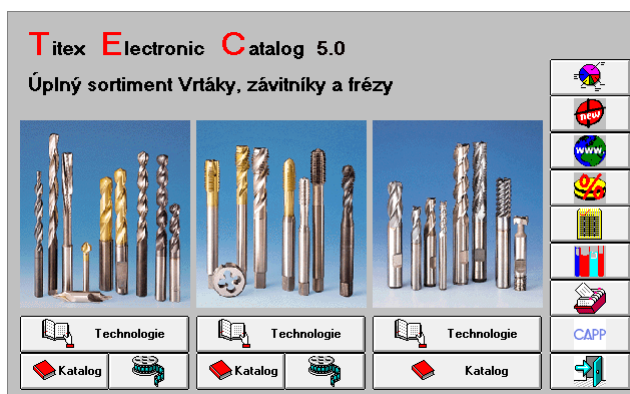
1.1 TEC – Titex Electronic Catalog

Firma Günther & Co. GmbH v roce 1995 uvedla na trh svůj elektronický katalog. Byla to úplná novinka, která byla určena široké odborné veřejnosti v oblasti obrábění kovů. Na svou dobu velice progresivní myšlenka – spojit na elektronickém mediu katalog se všemi vyráběnými produkty a technologií obrábění s technickými parametry všech nástrojů. Na základě zadaných hodnot uživatelem program nabídne nejvhodnější nástroj pro obrábění včetně řezných parametrů a ekonomicky vyhodnotí veškeré náklady na výrobu a nástroj včetně jeho přeoštění. Další výhodou programu je nadefinování speciálního nástroje do předem připravené šablony a její odeslání po síti přímo výrobcí nástrojů – TITEX Customer Link (TCL kontakt se zákazníky). Ten tuto informaci zpracuje a vyrobí nástroj dle požadavku.

První TEC katalog z roku 1995 byl ještě distribuován na disketách, kdežto další následující z roku 2000 byl již na CD nosičích (viz obr. 1.1). Na obrázku 1.2 je úvodní výběrový panel pro volbu technologie výroby, anebo katalog s úplným sortimentem.

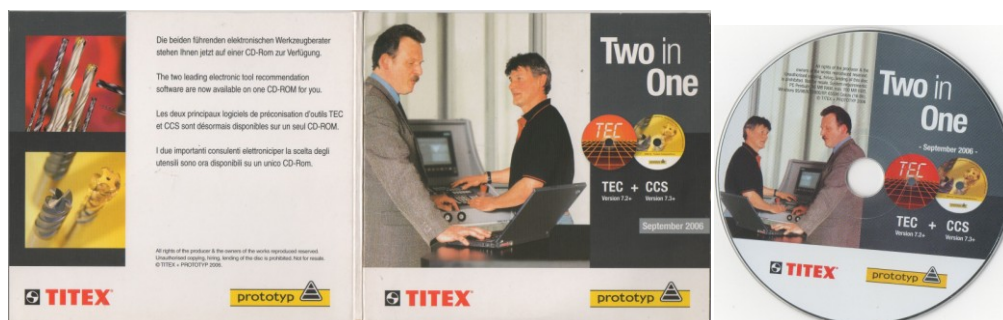


Obr. 1.1 TEC 5.0 z roku 2000 + CD nosič

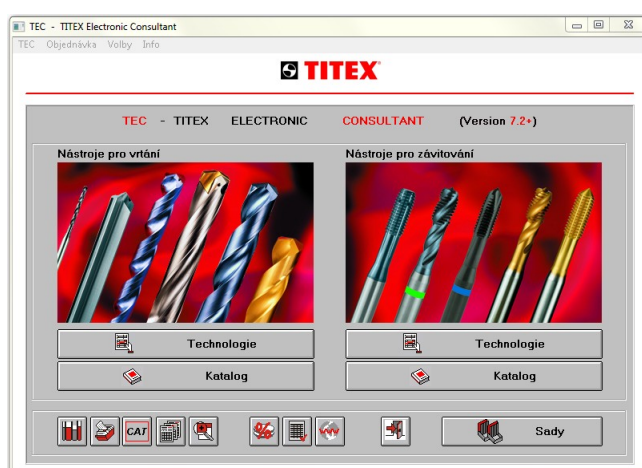


Obr. 1.2 Úvodní výběrový panel TEC 5.0

V roce 2006 dochází ke spojení s firmou Prototyp a tím i k vydání elektronického katalogu pod značkou TEC + CCS – Two in One (viz obr. 1.3). Na obrázku 1.4 je výběrový panel nástrojů obou firem – TEC (TITEX) a CONSULTANT (PROTOTYP).

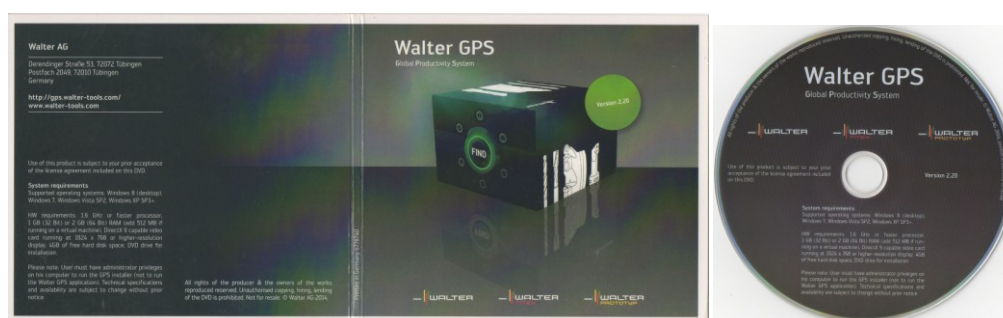


Obr. 1.3 TEC + CCS z roku 2006 + CD nosič



Obr. 1.4 Úvodní výběrový panel Two in One

V roce 2014 byl vydán poslední elektronický katalog (viz obr. 1.5), a to firmou Walter AG pod názvem Walter GPS (Global Productivity System). Tento program je už tak obsáhlý, že množství dat se vejde pouze na DVD nosič. GPS zahrnuje všechny produkty obrábění vyráběné firmou Walter AG. Díky tomuto elektronickému katalogu jsme si udělali představu o možnostech vrtáku DC170 a řezných parametrech, které jsme nastavili na stroji pro náš experiment.



Obr. 1.5 GSP (Global Productivity System) + DVD nosič GPS

2 Popis nástroje, rozbor problematiky vrtání a jeho současný stav

Vrtání a vrtáky dělíme do několika skupin podle technologie výroby. Hloubka vrtání je závislá od průměru díry (vrtáku) a druhu vrtaného materiálu. S tím souvisí správná volba technologie vrtání, konstrukce nástrojů, ale také jejich upínání.

2.1 Vrtání

Je to výrobní metoda, kterou se zhotovují otvory do plného materiálu nebo se zvětšují již předpracované díry (předvrtané, předlité, předlisované, atd.). Jako nástroj se používá vrták, který koná hlavní pohyb - rotační. Ve výjimečných případech vykonává hlavní pohyb obrobek. Vedlejší pohyb je přímočarý posuvný (ve směru osy nástroje), který vykonává také nástroj. Při samotném obrábění je osa vrtáku nejčastěji kolmá k obráběné ploše. [1]

2.2 Vrták

Nejčastěji používanými nástroji na vrtání děr jsou šroubovitě vrtáky. Mají na válcovém těle vytvořeny dvě protilehlé šroubové drážky, které nám slouží k odvodu třísky, ale např. i k přívodu procesní kapaliny do místa řezu. Úhel stoupání šroubovice je:

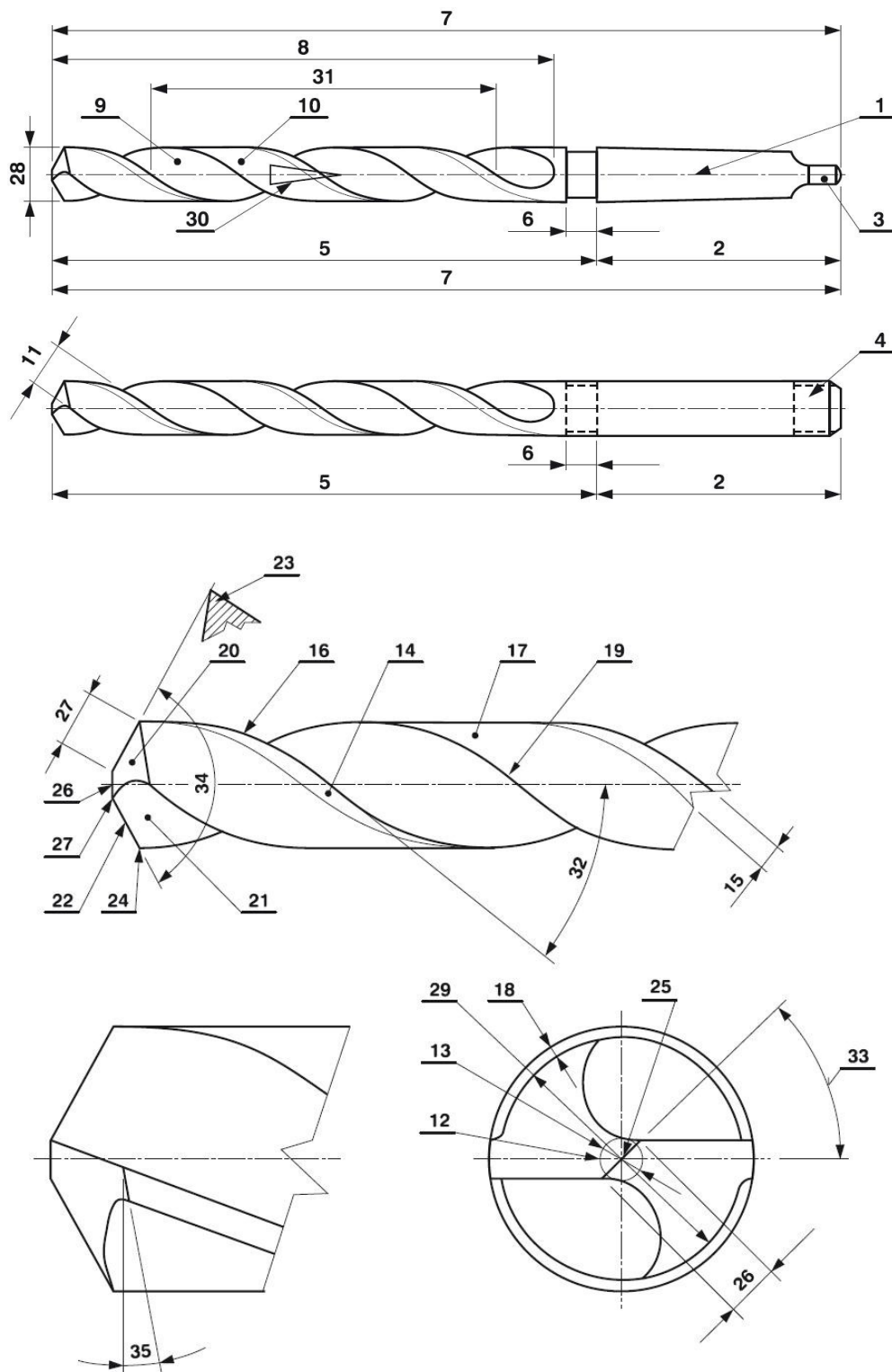
- $27^\circ \pm 5^\circ$ (pro vrtáky určené k vrtání ocelí a litin běžných pevností a tvrdostí),
- $42^\circ \pm 5^\circ$ (pro vyvrtávání materiálů s vysokou houževnatostí – měkké oceli, slitiny hliníku, termoplasty),
- $12^\circ \pm 5^\circ$ (pro vrtání tvrdších materiálů - bronz, mosaz, tvrdá pryž, plexisklo).

Úhel špičky u šroubovitých vrtáků je:

- 118° (pro běžné nelegované oceli střední pevnosti a litin střední pevnosti),
- 140° (pro vrtání těžkoobrobitelných materiálů),
- 90° (pro vrtání plastů a tvrdých pryží). [1]

2.3 Konstrukce vrtáků

Konstrukce vrtáku je dána normou ČSN 22 1121 pro vrtáky s válcovou upínací stopkou a ČSN 22 1140 pro vrtáky s kuželovou stopkou. Popis částí vrtáků je uvedený na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Konstrukce šroubového vrtáku [10]

Terminologie konstrukce šroubového vrtáku:

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------|
| 1. osa | 2. stopka - kuželová, válcová |
| 3. vyrážec | 4. unášeč |
| 5. tělo vrtáku | 6. krček |
| 7. celková délka | 8. délka drážky (šroubovice) |
| 9. drážka | 10. plocha vedlejšího hřbetu |
| 11. šířka plochy vedlejšího hřbetu | 12. jádro |
| 13. tloušťka jádra | 14. fazetka |
| 15. šířka fazetky | 16. vedlejší ostří |
| 17. odlehčení | 18. hloubka odlehčení |
| 19. pata | 20. hřbet |
| 21. čelo | 22. hlavní ostří |
| 23. břit | 24. vnější špička |
| 25. příčné ostří | 26. délka příčného ostří |
| 27. délka hlavního ostří | 28. průměr vrtáku (h_8) |
| 29. průměr odlehčení | 30. zpětná kuželovitost |
| 31. stoupání šroubovice | 32. úhel šroubovice λ |
| 33. úhel příčného ostří | 34. úhel špičky ϵ |
| 35. úhel hřbetu [10] | |

2.4 Upínání vrtáků

Za rozhodující faktory obrábění jsou považovány stroj, vřeteno a nástroj. Ale pokud přesnost obvodového házení nástrojového držáku není v pořádku, neodpovídá požadované kvalitě výsledek vrtání ani kvalita povrchu vrtaného otvoru. Nástroje a vřetena obráběcích strojů trpí a opotřebovávají se. Proto se z těchto důvodů pro tvrdokovové vrtáky používají tyto upínače (viz obr. 2.2):

- hydraulické upínače,
- tepelné upínače.

Vlastnosti hydraulických upínačů:

- kruhovitost 0,003–0,005 mm,
- rovnoměrné opotřebení, lze tak dosáhnout delší trvanlivosti,
- vynikající klidný chod,
- vhodné zejména pro nástroje VHM se standardní stopkou tvaru HA,
- schopnost přenosu vysokých točivých momentů,
- vynikající spolehlivost,
- velmi dobré tlumení,
- nejvyšší kvalita otvorů (povrch, přesnost),
- relativní necitlivost vůči zašpinění,
- jednoduchá manipulace,
- vhodné pro obrábění HSC.



Obr. 2. 2 Tepelný (vlevo) a hydraulický upínač [11]

Vlastnosti tepelných upínačů:

- kruhovitost 0,003–0,005 mm,
- rovnoměrné opotřebení, lze tak dosáhnout delší trvanlivosti,
- vynikající klidný chod,
- vhodné zejména pro nástroje VHM se standardní stopkou tvaru HA,
- vhodné pro obrábění HSC. [11]

2.5 Opotřebení vrtáků

Vrtání je operace se specifickými charakteristikami, které ji odlišují od ostatních obráběcích operací, především utváření třísky a její odvádění z vrtaných otvorů. Utváření třísky je ovlivňováno materiálem obrobku, geometrií břitu nástroje, řeznou rychlostí,

posuvem a volbou chladicí kapaliny. Značné množství problémů při vrtání je také způsobeno nepříznivými podmínkami stability. Všechny tyto uvedené skutečnosti se podílejí na opotřebení vrtáků.

Druhy opotřebení řezného nástroje ze slinutého karbidu:

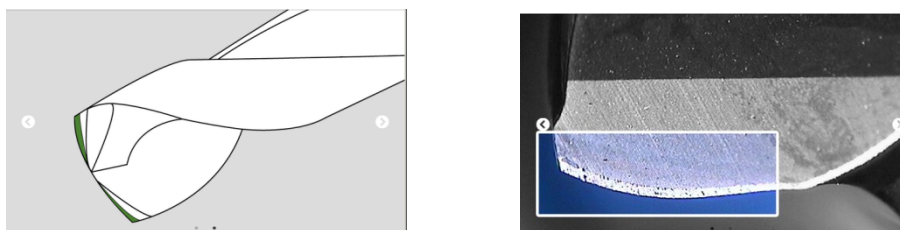
- opotřebení hřbetu,
- opotřebení utvářeče,
- nárůstek,
- vylomení,
- plastická deformace.

Opotřebení hřbetu

Opotřebení (oděr) hřbetu vzniká abrazí mezi obrobkem a hřbetem (viz obr. 2.3).

Opatření proti vzniku opotřebení hřbetu:

- snížení řezné rychlosti,
- zvýšení posuvu,
- zvýšení tlaku procesní kapaliny. [12]



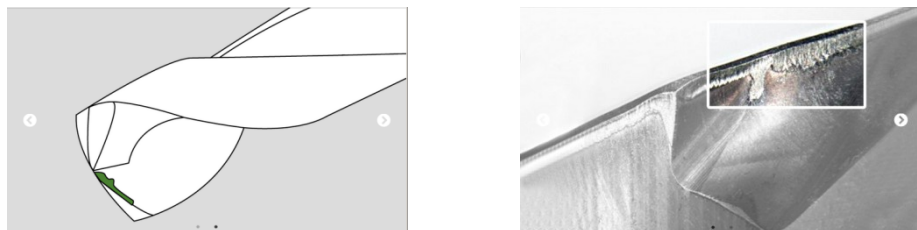
Obr. 2.3 Opotřebení hřbetu [12]

Opotřebení utvářeče

Opotřebení utvářeče (vymílání, resp. vyhlubování čelní plochy) je způsobené difuzí a abrazí na čelní ploše (viz obr. 2.4). Opatření proti vzniku opotřebení utvářeče:

- snížení řezné rychlosti,

- zvýšení posuvu,
- zvýšení tlaku procesní kapaliny. [12]

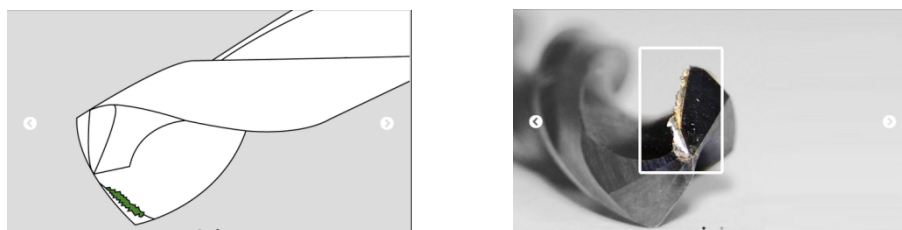


Obr. 2.4 Opatření proti opotřebení utvářeče [12]

Nárůstek

Nárůstek (nalepení materiálu podél řezné hrany na čelní ploše) v důsledku studených mikro návarů ulpívá na řezné hraně části materiálu obrobku. Nárůstky vznikají na břitech nástroje (viz obr. 2.5) a doporučují se následující opatření proti jejich vzniku:

- snížení řezné rychlosti,
- zvýšení posuvu,
- zvýšení tlaku procesní kapaliny. [12]

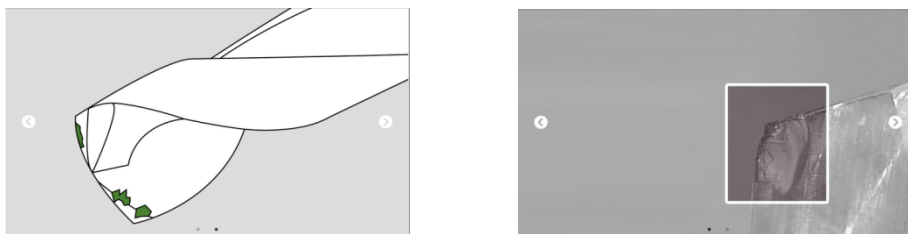


Obr. 2.5 Nárůstek [12]

Vylomení

Vylomení (vylomení podél řezné hrany) vznikají v důsledku vibrací, působení třísek, hřebenových trhlin a příliš velké tvrdosti řezného materiálu (viz obr. 2.6). Opatření proti vzniku vylomení:

- dříve vyměnit a renovovat nástroj (přebroušení a povlakování),
- kontrola upnutí nástroje,
- kontrola házivost nástroje. [12]

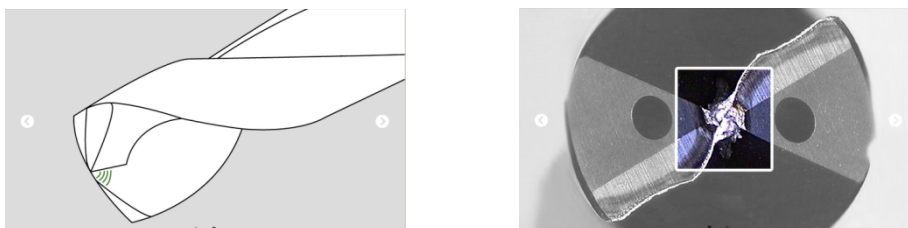


Obr. 2.6 Vylomení [12]

Plastická deformace

Plastická deformace (deformace na řezné hraně, speciálně na příčném ostří) je způsobena příliš velkým zahříváním ve spojení s příliš vysokým mechanickým zatížením (viz obr. 2.7). Opatření proti vzniku plastické deformace:

- volba nižší posuvové rychlosti,
- zvýšení tlaku procesní kapaliny. [12]



Obr. 2.7 Plastická deformace [12]

2.6 Technologie vrtání hlubokých otvorů

Mluvíme-li o nástrojích na hluboké vrtání, máme na mysli nástroje, kterými je možno takové otvory vyrobit, aniž by přitom musel být proces vrtání přerušován vyjížděním nástroje z otvoru z důvodů odstranění vzniklých třísek. V minulosti bylo použití takovýchto nástrojů možné jen na speciálních jednoúčelových strojích. Současní výrobci obráběcích strojů však díky pokroku v technice nabízejí stroje, které nasazení některých typů nástrojů pro hluboké vrtání již umožňují. Přitom je však nutné zachovávat určitá pravidla pro tento způsob výroby otvorů.

2.7 Nástroje pro hluboké vrtání

Běžně používané vrtáky pro hluboké vrtání jsou:

- STS a BTA vrtáky,
- ejektorové vrtáky,
- dělové a hlavňové vrtáky.

STS vrtáky

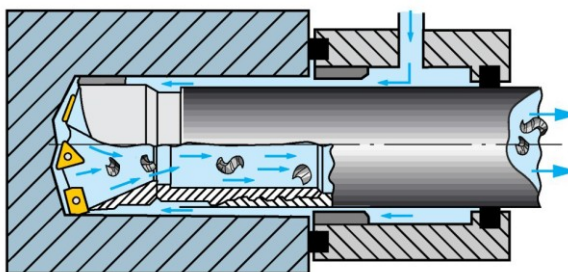
Systém STS představuje první volbu pro velké výrobní série. Tato metoda sice vyžaduje použití speciálního stroje pro vrtání hlubokých děr, produktivita je však až šestkrát vyšší než u vrtání dělovými vrtáky.

Technologie vrtání z STS vrtáky je vhodná pro:

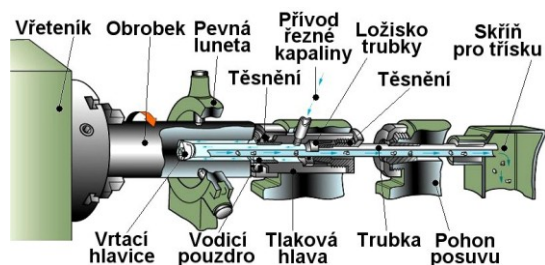
- materiály se špatným utvářením třísek, např. korozivzdorné nebo nízkouhlíkové oceli,
- materiály s nehomogenní strukturou, kde často nastávají problémy s dělením třísek,
- extrémně dlouhé a stejnoměrné obrobky,
- průměry díry větší než 200 mm (7,874 palce).

Systém STS využívá vnější přívod řezné kapaliny s vyplachováním třísek středem nástroje (viz obr. 2.8). Vrtací hlava je uchycena k válcové vrtací trubce o menším průměru. Mezi stěnou vyvrtané díry a vrtací trubicí tak zůstává dostatečně velký prostor. Řezná kapalina je přiváděna prostorem mezi vrtací trubicí a stěnou vrtané díry, přičemž její tlak pomáhá odvádět třísky vrtací trubicí ven z vrtané díry. Díky vysoké rychlosti proudění řezné kapaliny je odvádění třísek mimořádně plynulé. Zařízení pro STS vrtání je znázorněno na obr. 2.9.

Protože třísky jsou odváděny středem nástroje, nemusí už být jeho tělo opatřeno drážkami pro jejich odvádění. Jeho příčný průřez tak může být čistě kruhový, což poskytuje nástroji mnohem větší tuhost, než jakou může nabídnout koncepce dělových vrtáků. [13]



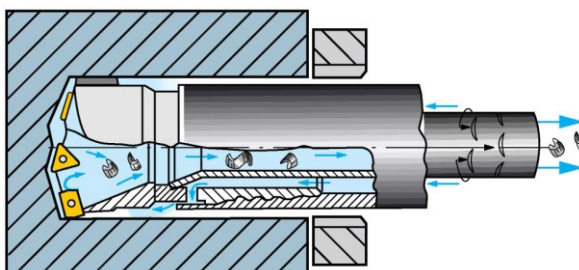
Obr. 2.8 Princip funkce BTA a STS vrtáku [14]



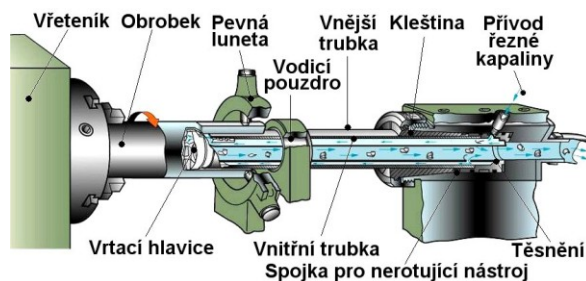
Obr. 2.9 Zařízení pro STS vrtání [14]

Ejektorové vrtáky

Procesní kapalina je čerpadlem vtačována do prostoru mezi vnější a vnitřní trubkou, kudy je přiváděna k břitům vrtací hlavy, a třísky jsou v opačném směru vyplachovány ven z díry vnitřní trubkou (viz obr. 2.10). Zařízení pro ejektorové vrtání je znázorněno na obr. 2.11. [15]



Obr. 2.10 Princip ejektorového vrtání [14]



Obr. 2.11 Zařízení pro ejektorové vrtání [14]

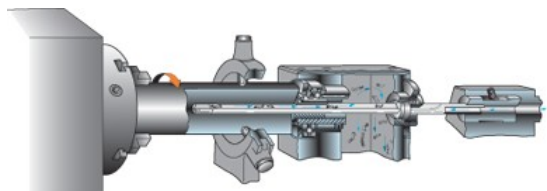
Systém dělového vrtání

Systém pro dělové vrtání umožňuje výrobu menších děr, než systém s jednou trubicí (STS), je však méně produktivní. Dosažení nejlepších výsledků umožňují stroje, určené speciálně pro dělové vrtání. Konvenční stroje lze pro dělové vrtání přizpůsobit, s využitím předvrtané díry jako vedení.

Technologie dělového vrtání:

- procesní kapalina je do místa řezu dodávána tělem vrtáku a třísky jsou odváděny nazpět drážkou vrtáku, která má tvar V,
- mezi obrobkem a vrtacím pouzdrům a na zadní straně komory na třísky je třeba zajistit náležité utěsnění,
- ve srovnání se systémem STS je zapotřebí přibližně o 50 % vyšší tlak procesní kapaliny,
- nutná je filtrace, umožňující spolehlivé zachycení částic o velikosti 5-10 μm (0.000196 - 0.000394 palců),
- příznivé výsledky při vrtání velmi tvrdých materiálů a materiálů s problematickým dělením třísky,
- umožňuje dosažení velmi úzkých tolerancí a dobré kvality obrobeného povrchu. [16]

Zařízení pro dělové vrtání je znázorněno na obrázku 2.12.



Obr. 2.12 Zařízení pro vrtání dělovým vrtákem [16]

3 Návrh experimentu

Cílem experimentu bylo porovnat dva tvrdokovové vrtáky od firmy Walter AG značky Titex za stejných podmínek, které jsou určeny pro hluboké vrtání a ukázat na rozdílné konstrukci nástrojů jejich produktivitu. Podmínkou bylo maximální využití obou vrtáků (od ostrého nástroje po jeho opotřebení), aniž by došlo k nenávratnému zničení nástrojů.

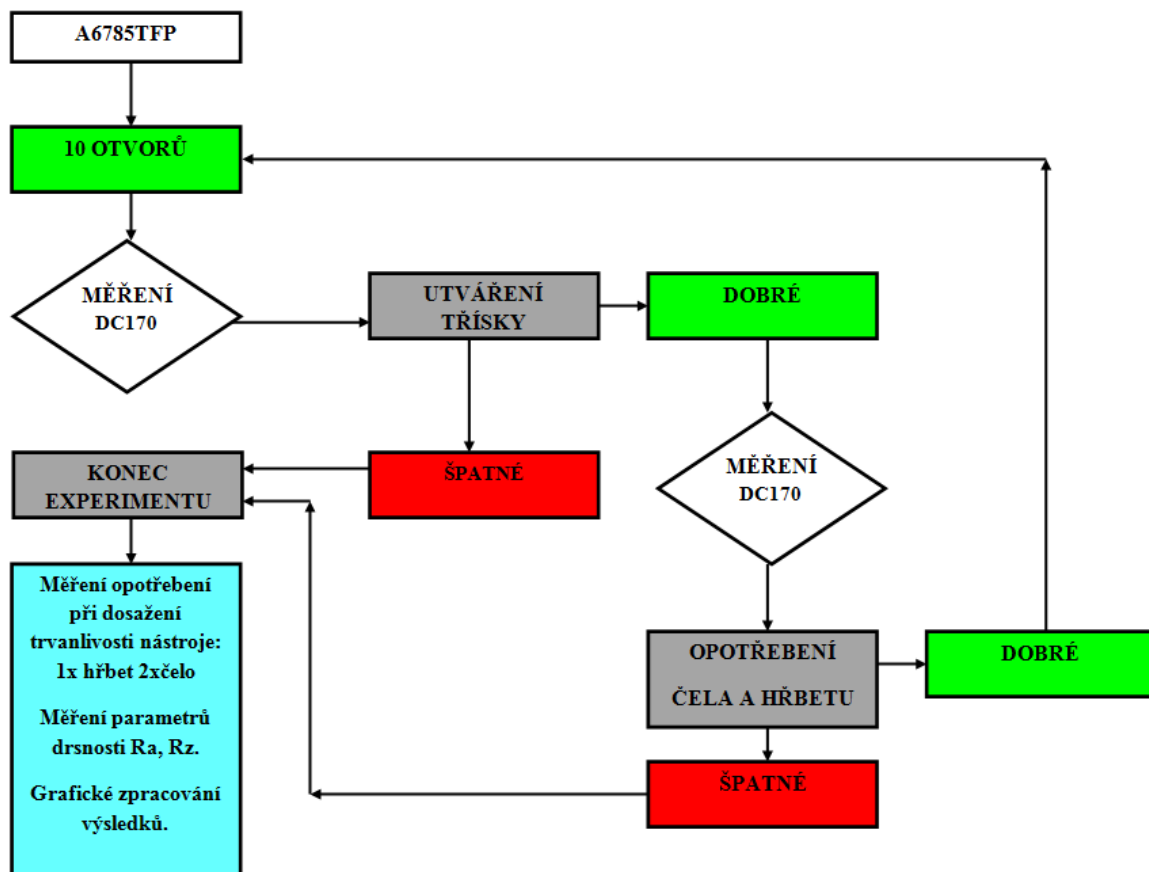
První nástroj – A6785TFP-8 – vychází z konstrukce řezného nástroje ALPHA 4, který byl uvedený na trh v roce 2001 ještě firmou Günther & Co. GmbH. Tento nástroj poté prošel inovacemi – přes vrták Walter Titex X-treme Plus A3389DPL, až po novinku z roku 2014 – vrták DC170-20-08.000A1-WJ30EJ. Ten byl použitý jako druhý nástroj.

3.1 Schéma experimentu

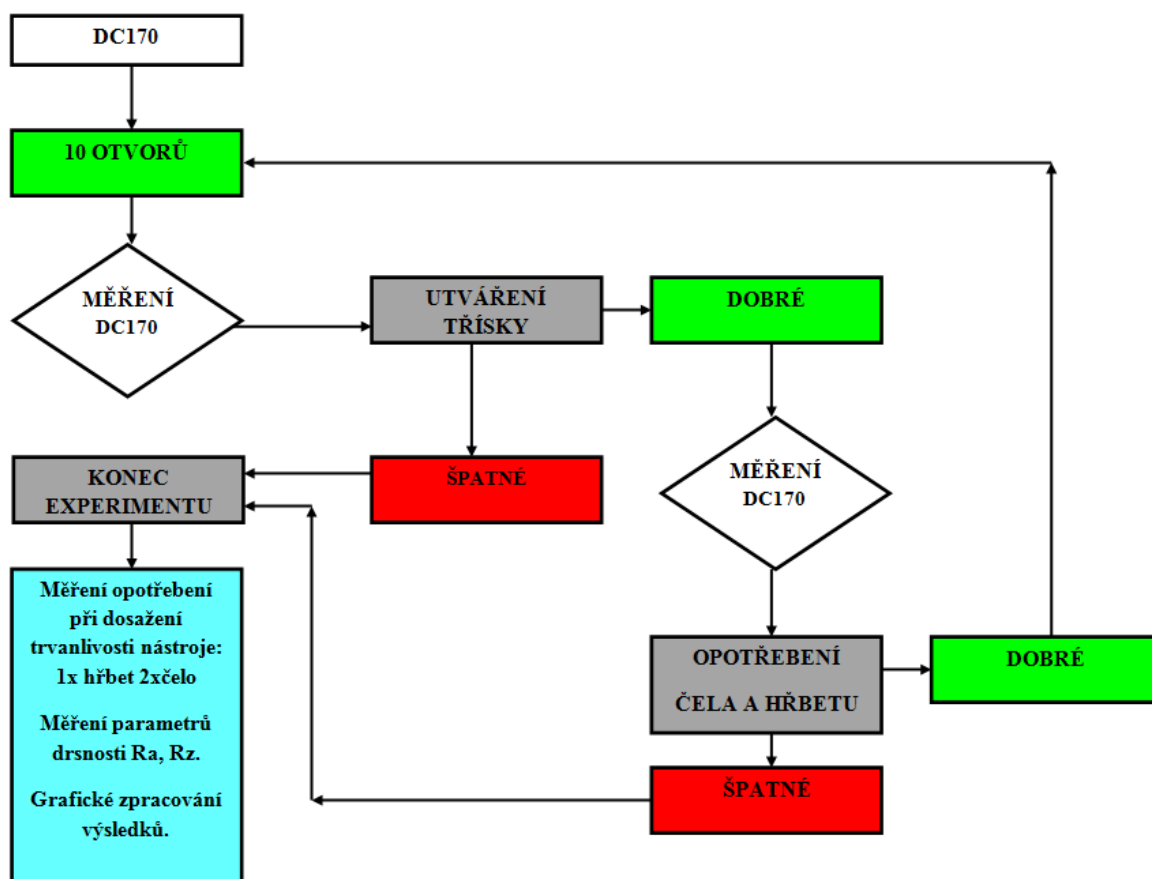
Experimentální testování nástrojů A6785TFP-8 a DC170-20-08.000A1-WJ30EJ probíhalo podle předem stanovených harmonogramů – viz obr. 3.1 a 3.2.

Oba nástroje vyvrtaly 10 otvorů do hloubky 160 mm. Poté následovalo pod mikroskopy první měření opotřebení čela a hřbetu, které nevykazovaly žádné známky opotřebení. Proto se pokračovalo ve vrtání dalších 10 otvorů, kde se již při tomto vrtání sledovalo také utváření třísek. Pokud utváření třísek probíhalo v normálu, cyklus vrtání se nepřerušil a po dalších odvrtných 10 otvorech se měřilo opotřebení.

Průběh vrtání se opákoval až do chvíle, kdy třísky svým tvarem upozornily na problém s nástrojem. V tuto chvíli byl experiment ukončen.



Obr. 3.1 Schéma experimentu vrtání nástrojem A6785TFP



Obr. 3.2 Schéma experimentu vrtání nástrojem DC170

3.2 Obráběný materiál

Pro testování nástrojů byl po domluvě s dodavatelem nástroje, firmou Walter AG, zvolen materiál 1.7225 (dle ČSN 15 142, dle DIN 42CrMo4) o rozměrech $\varnothing 298 \times 160$ mm.

Tento materiál se používá na velmi namáhané strojní součásti a součásti silničních motorových vozidel, kde se požaduje vysoká pevnost a houževnatost – např. hřídele a spojovací součásti.

Tvrdost materiálu byla dle dodavatele materiálu 330 HB. Ověření bylo provedeno přenosným tvrdoměrem ISH-PHA.

Chemické složení oceli je uvedeno v tabulce 3.1. Mechanické vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tabulce 3.2.

Tab. 3.1: Chemické složení oceli 1.7225

C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	P [%]	S [%]
0,38–0,45	0,50–0,80	0,17–0,37	0,90–1,20	max. 0,50	0,15–0,30	max. 0,035	max. 0,035

Tab. 3.2: Mechanické vlastnosti oceli 1.7225

Mez pevnosti R _m min	686 MPa
Tvrdost HB	300–359
Normalizační žíhání	870–890 °C (ochlazovat na vzduchu)
Kalení	840–880 °C (ochlazovat v oleji)
Popouštění	540–680 °C (ochlazovat na vzduchu)
Žíhání na měkko	700–740 °C
Obrobitelnost vrtání	12b

V příloze A je uvedený materiálový list.

3.3 Obráběcí stroj

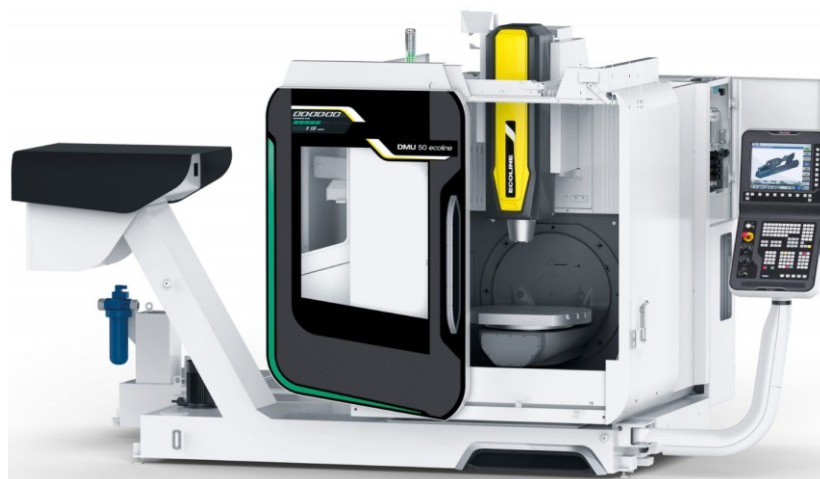
Experimentální vrtání probíhalo na univerzálním frézovacím stroji firmy DMG Mori s označením DMU 50 (viz obr. 3.3), kterým je vybavena Laboratoř obrábění Katedry obrábění, montáže a strojírenské metrologie, Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava. Jedná se

o pětiosé centrum s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530 HSCI. Technické parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 3.3.

Tab. 3.3: Technické parametry obráběcího stroje DMG Mori DMU 50

DMG Mori DMU 50	
Rozměr otočného stolu	630 × 500 mm
Povolený průměr nástroje	do 130 mm
Povolená délka nástroje (od čela nástroje)	300 mm
Povolená hmotnost nástroje	6 kg
Pojezd v ose X	500 mm
Pojezd v ose Y	450 mm
Pojezd v ose Z	400 mm

V příloze B jsou uvedeny technické parametry neuvedené v tabulce 3.3.



Obr. 3.3 DMG MORI DMU 50 [17]

3.4 Popis vrtáků

A6181TFT-8

Vrták A6181TFT je karbidový nástroj s vnitřními kanálky pro přívod procesní kapaliny. Nástroj je vhodný pro vrtání materiálu do maximální tvrdosti 45–55 HRC a hloubky $3 \times D$ (viz obr. 3.4).

Vybrané parametry vrtáku A6181TFT-8:

- K30F – TFT,
- typ XD Pilot,
- pravotočivá šroubovice,

- úhel špičky 150°,
- speciální tolerance průměru pro technologii XD.

Slinutý karbid K30F:

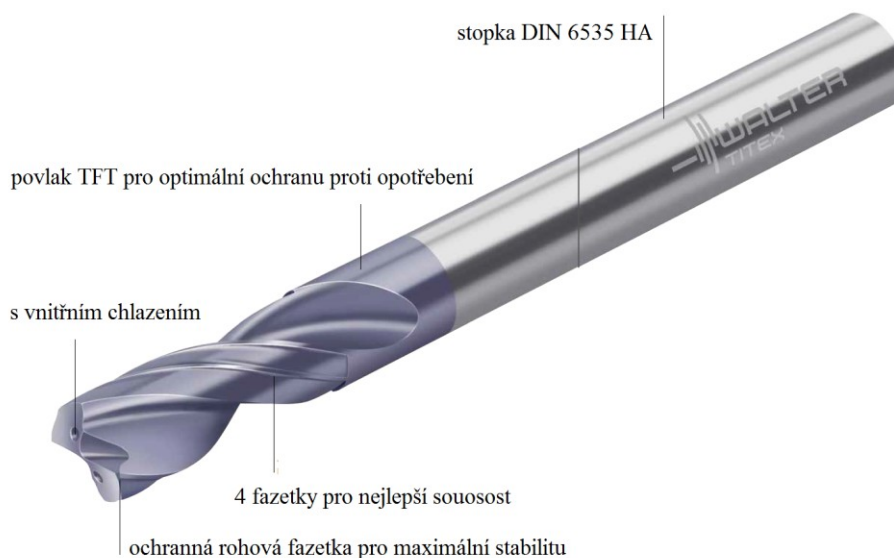
- obsahuje 10 % Co,
- nejjemnější zrnitost,
- tvrdost 1550 HV.

Použití:

- pro materiálové skupiny ISO P, M, K, N, S, H,
- lze použít s emulzí a olejem,
- pro použití ve všeobecném strojírenství, v hydraulickém průmyslu, při výrobě forem, v automobilovém a energetickém průmyslu.

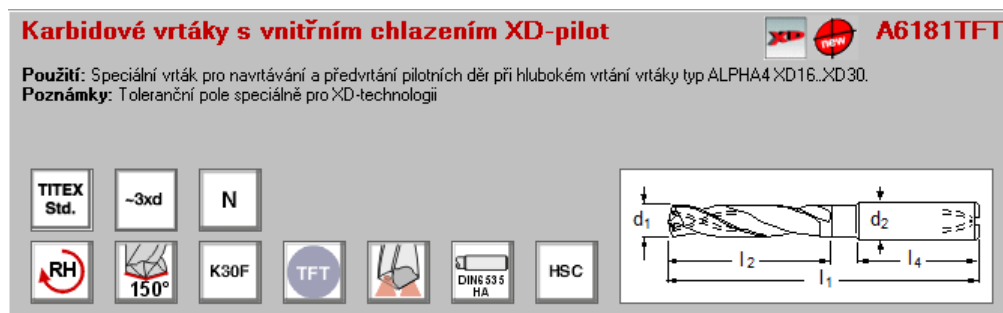
Stopka DIN 6535 HA:

- válcová stopka bez plošky,
- nejmenší házivost,
- první volba pro nástroje VHM, obrábění HSC, vrtání hlubokých otvorů a mikroobrábění. [18]




Obr. 3.4 Vrták A6181TFT [18]

Technické parametry a velikosti vrtáků jsou uvedeny na obrázcích 3.5 a 3.6.



Obr. 3.5 Technické údaje vrtáků A6181TFT XD-pilot [18]

l / d	~ 8 x d ~ 12 x d		
Manufacturing standard	TITEX standard		
Type	XD Pilot	ALPHA4 XD8	ALPHA4 XD12
Catalogue number	A6181 TFT	A6485 TFT	A6585 TFT
Surface treatment	TFT	TFT	TFT
Cutting material	K30F	K30F	K30F
Diameter range in mm	3.00 16.0	3.00 20.0	3.00 20.0
Diameter range in inches	1/8 9/16	1/8 3/4	1/8 3/8



Obr. 3.6 Velikosti vrtáků ALPHA 4 $8 \times d - 12 \times d$ [18]

A6785TFP-8

Vrták A6785TFP je karbidový nástroj s vnitřním chlazením. Má dva kanálky pro přívod procesní kapaliny do místa řezu. Je určen pro vrtání až do hloubky vrtání $20 \times D$ a jeho možnost použití je až do tvrdosti materiálu 45–55 HRC. Popis nástroje je uvedený na obr. 3.7.

Vybrané parametry:

- K30F – TFP,
- typ ALPHA $4 \times D$ 20,
- pravotočivá šroubovice,
- úhel špičky 140° ,
- speciální tolerance průměru pro technologii XD.

Slinutý karbid K30F:

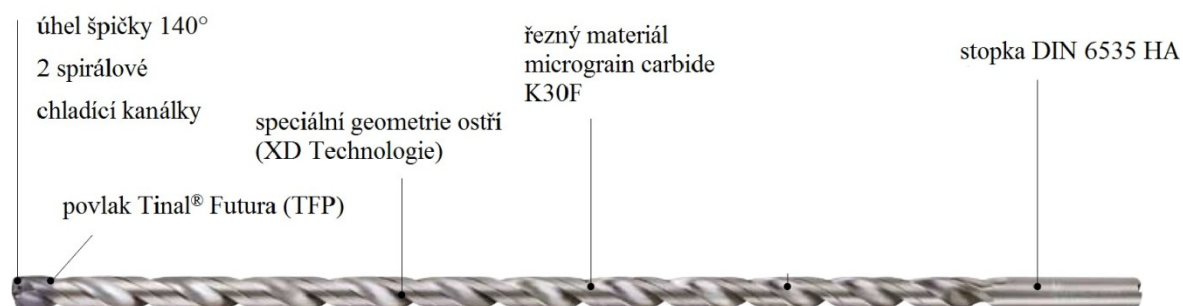
- obsahuje 10% Co,
- nejjemnější zrnitost,
- tvrdost 1550 HV.

Použití:

- pro materiálové skupiny ISO P, M, K, N, S, H,
- lze použít s emulzí a olejem,
- pro použití ve všeobecném strojírenství, v hydraulickém průmyslu, při výrobě forem, v automobilovém a energetickém průmyslu.

Stopka DIN 6535 HA:

- Válcová stopka bez plošky,
- nejmenší házivost,
- první volba pro nástroje VHM, obrábění HSC, vrtání hlubokých otvorů a mikroobrábění. [18]







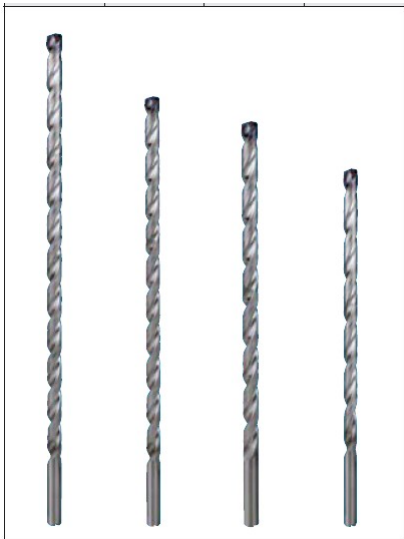
Obr. 3.7 A6785TFP [18]

Technické parametry a velikosti vrtáků jsou uvedeny na obrázcích 3.8 a 3.9.



Obr. 3.8 Technické údaje vrtáků A6785TFP ALPHA 4 TFP XD20 [18]

~16x d	~20x d	~25x d	~30x d
TITEX standard			
ALPHA4 XD16	ALPHA4 XD20	ALPHA4 XD25	ALPHA4 XD30
A6685 TFP	A6785 TFP	A6885 TFP	A6985 TFP
			
K30F	K30F	K30F	K30F
3.00	3.00	3.00	3.00
16.0	16.0	12.0	12.0
1/8	1/8	1/8	1/8
9/16	9/16	15/32	15/32



Obr. 3.9 Velikosti vrtáků ALPHA 4 $16 \times d - 30 \times d$ [18]

DC170-20-08.000A1-WJ30EJ

Vrták DC170 je vysoce výkonný karbidový nástroj s vnitřním přívodem procesní kapaliny. Je určen pro vrtání až do hloubky $20 \times D$. Popis nástroje je uvedený na obr. 3.10.

Vybrané parametry:

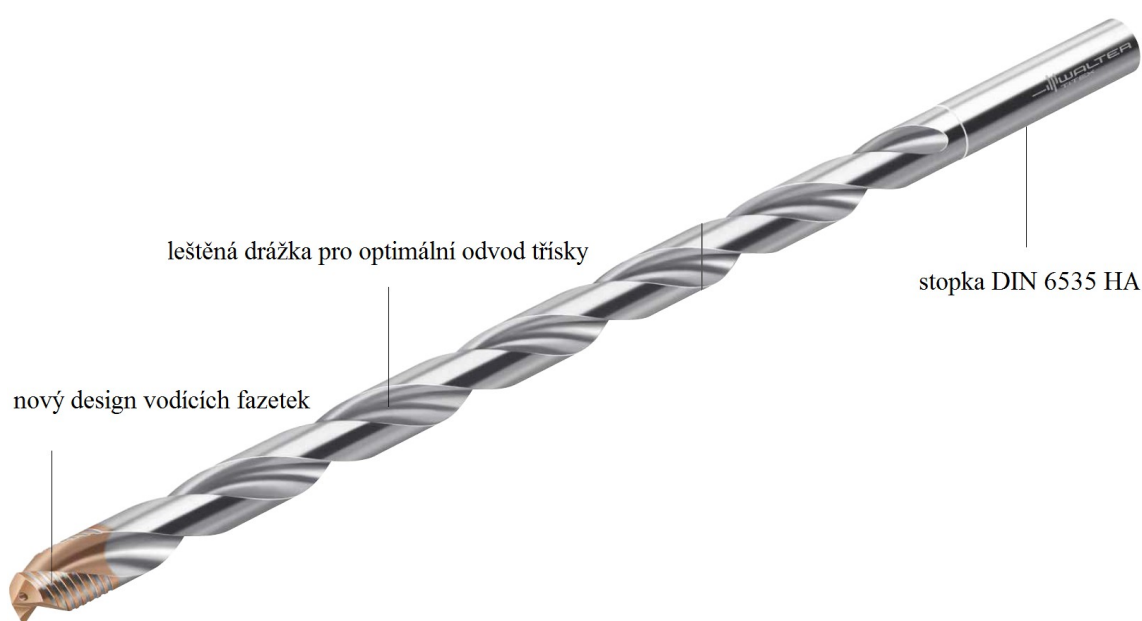
- druh: WJ30EJ; K30F, Tinal/AlCrN vícevrstvý,
- obecné rozměry: $16 \times D_c$, $20 \times D_c$,
- rozsah průměrů 3–16 mm,
- úhel špičky 140° ,
- pravotočivá šroubovice,
- průměr vrtáku v toleranci h7,
- stopka podle DIN 6535 HA.

Použití:

- pro materiálové skupiny ISO P, K,
- lze použít s emulzí a olejem,
- pro přerušovaný řez a při šikmých vyústěních,
- pro použití ve všeobecném strojírenství, při výrobě nástrojů a forem v automobilovém a energetickém průmyslu.

Vlastnosti nástroje:

- maximální spolehlivost díky novému designu vodících fazetek; ploché drážky umožňují průtok procesní kapaliny a maziva a zabraňují ulpívání třísek na nástroji,
- zvýšení produktivity díky o 50 % delší životnosti při o 35 % vyšších pracovních hodnotách v porovnání s běžnými vrtáky ze slinutého karbidu,
- zlepšení kvality obrobků díky kontinuálnímu vedení vrtáku na obvodu,
- snížení výrobních nákladů díky optimálnímu využití nástroje, drážky lze odpočítávat; díky tomu je vidět stav vrtáku,
- leštěné drážky zaručují spolehlivý odvod třísky. [19]

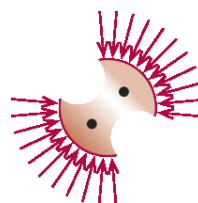


Obr. 3.10 DC170-20-08.000A1-WJ30EJ [19]

Vlastnosti nástroje uváděné v literatuře – vyjádřené graficky – jsou uvedeny na obrázcích 3.11 až 3.14.



Obr. 3.11 Nové řezné hrany [19]



Obr. 3.12 Nová konstrukce fazetek [19]



Obr. 3.13 Simulace odvodu procesní kapaliny z místa řezu [19]



Obr. 3.14 Rychlá kontrola počtu ostření nástroje [19]

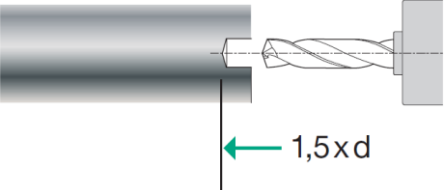
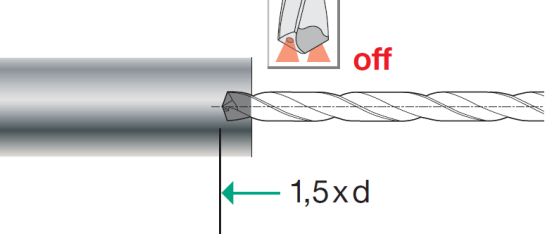
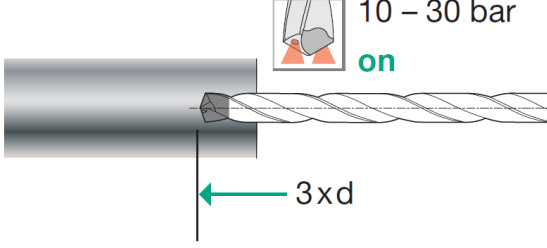
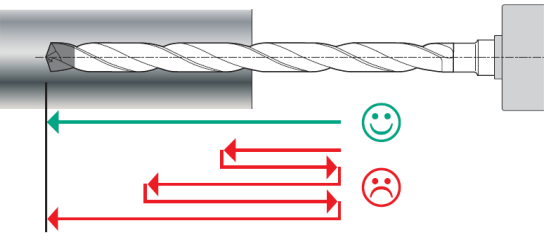
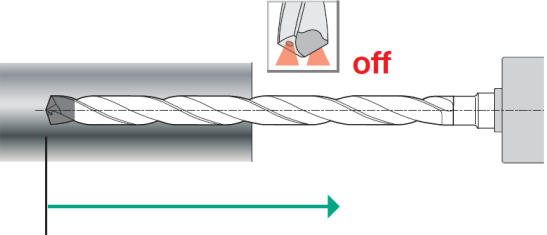
3.5 Strategie vrtání hlubokých otvorů $16 \times D < \text{nástroje}$ Walter Titex

U vrtáků o délce $16 \times D$ a delších je naprosto nutné zvládnout kritický okamžik vstupu nástroje do materiálu - zavrtání, které je rozhodující pro úspěšnost celého vrtacího procesu. Proto je vhodné použít nástroje přímo k tomu určené, vrtáky XD-pilot pro vrtání pilotních děr. Ty mají vrcholový úhel 150° , který je oproti běžnému, krátkému vrtáku s úhlem 140° vhodnější, průměr nástroje s větší tolerancí a geometrii optimalizovanou pro zavrtávání a přípravu pilotní díry pro dlouhý vrták.

Druhou fází je vrtání dlouhým vrtákem do připravené pilotní díry. Zavrtání probíhá za redukováných hodnot doporučených pracovních řezných rychlostí a posuvů. Pro zavrtání do hloubky $1 \times D$ až $3 \times D$ se používá $1/4$ až $1/2$ hodnoty doporučené řezné rychlosti a posuvu na otáčku v závislosti na povaze obráběného materiálu. Po dosažení hloubky vrtání $1 \times D$ až $3 \times D$ se řezná rychlost a posuv plynule zvýší na 100 % doporučených hodnot. Po vyvrtání díry je třeba snížit otáčky nástroje na cca 50 % nebo nástroj úplně zastavit a následně odjet z díry. Na vrtáky délek $16 \times D$ a delší působí odstředivé síly, které při překročení kritických otáček bez vedení nástroje v díře mohou pouhým načítáním harmonických kmitů zapříčinit až zlomení nástroje. [22]

V tabulce 3.4 je schematické znázornění vrtání hlubokých otvorů nástroji A6181TFT-8 a DC170.

Tab. 3.4: Schématické znázornění experimentálního vrtání hlubokých otvorů

<p>Navrtání pilotního otvoru (A6181TFT)</p> 	<p>Vrtaná hloubka: 12 mm ($1,5 \times D$)</p> <p>Řezná rychlost: 100 % podle programu GPS</p> <p>Posuv: 100 % podle programu GPS</p>
<p>Nájezd vrtáku (A6785TFP / DC170)</p> 	<p>Hloubka nájezdu: 12 mm ($1,5 \times D$)</p> <p>Otáčky: 500 min⁻¹</p> <p>Posuv: Nižší o 25 % než udává program GPS</p>
<p>Navrtání (A6785TFP / DC170)</p> 	<p>Vrtaná hloubka: 24 mm ($3 \times D$)</p> <p>Řezná rychlost (redukovaná): Nižší o 25-50 % než udává program GPS</p> <p>Posuv (redukovaný): Nižší o 25-50 % než udává program GPS</p>
<p>Vrtání (A6785TFP / DC170)</p> 	<p>Vrtaná hloubka: 160 mm ($20 \times D$)</p> <p>Řezná rychlost: 100 % podle programu GPS</p> <p>Posuv: 100 % podle programu GPS</p> <p>Plynulé vrtání bez vyjíždění a najíždění z řezu!</p>
<p>Výjezd vrtáku (A6785TFP / DC170)</p> 	<p>Konečná hloubka: 160 mm ($20 \times D$)</p> <p>Otáčky: 500 min⁻¹</p> <p>Výjezd vrtáku s otvoru do výchozí polohy rychloposuvem.</p>

3.6 Řezné podmínky

Řezné podmínky pro vrtáky A6785TFP-8 a DC170-20-08.000A1-WJ30EJ byly stejné z důvodu zachování objektivit testování a byly voleny podle doporučení výrobce – viz tabulka 3.5.

Tab. 3.5: Řezné podmínky vrtáků A6785TFP a DC170

Řezné podmínky	A6785TFP-8	DC170
průměr vrtáku	D = 8 mm	
otáčky	n = 3 981 min ⁻¹	
řezná rychlost	v _c = 100 m · min ⁻¹	
posuv	f = 0,17 mm	
posuvová rychlost	v _f = 667 mm · min ⁻¹	
hloubka díry	L = 160 mm	
strojní čas	T = 0,49 min	
procesní kapalina	emulze (Blaser)	
koncentrace procesní kapaliny	7 %	

3.7 Výpočet strojního času vrtání

Výpočet strojního času pilotního vrtání nástrojem A6181TFT-8 je provedeno podle vzorce:

$$T_c = \frac{L + h}{v_f} \quad [\text{min}^{-1}], \quad (3.1)$$

kde:

- vrtaná hloubka L = 12 mm,
- bezpečná vzdálenost nájezdu špičky vrtáku od obrobku h = 2 mm,
- posuvová rychlost v_f = 667 mm · min⁻¹.

Po dosazení do vzorce 3.1 je strojní čas vrtání pilotním otvorem pro jednu díru:

$$T_c = \frac{12 + 2}{667} = 0,021 \text{ min}^{-1}$$

Výpočet strojního času vrtání nástroji A6785TFP-8 a DC170-20-08.000A1-WJ30EJ je provedeno podle vzorce 3.1:

kde:

- vrtaná hloubka $L = 160 - 12 = 148 \text{ mm}$,
- bezpečná vzdálenost nájezdu špičky vrtáku od obrobku $h = 2 \text{ mm}$,
- posuvová rychlost $v_f = 667 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Po dosazení do vzorce 3.1 je strojní čas vrtání pro jednu díru:

$$T_c = \frac{148 + 2}{667} = 0,225 \text{ min}^{-1}$$

3.8 NC kódy a ukázka programu vrtání

Příprava programování proběhla v CAM systému Mastercam a odladění programu bylo provedeno na CNC obráběcím stroji DMG MORI DMU 50. V tabulce 3.6 je ukázka NC programu.

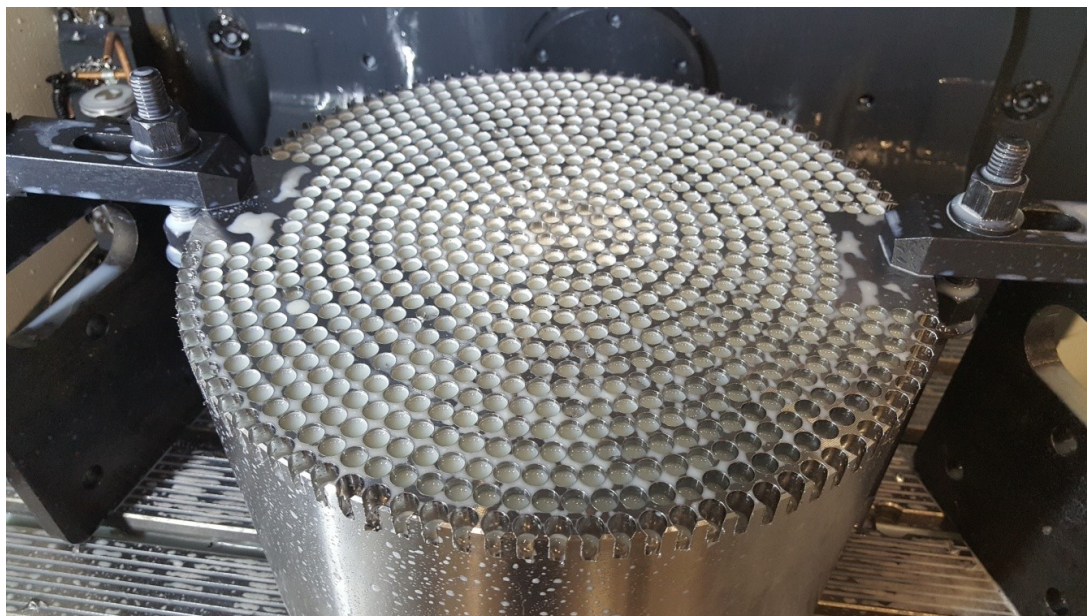
Tab. 3.6: Ukázka NC programu pro vrtání hlubokých otvorů

pilotní vrták	A6181TFT-8
XD vrták	A6885TFP-8
průměr otvoru	8
délka otvoru	160
řezná rychlost	100
posuv na otáčku	0,17
procentní snížení	35
N010 T 'A6181TFT-8'	volání nástroje
N020 S=3981 F=677 M3 M8	stanovení otáček
N030 G0 Z2	najetí nástroje před kus
N040 G1 Z-12	vrtání pilotního otvoru
N050 G0 Z5 M9	výjezd zpět
N060 T 'A6885TFP-8'	volání nástroje
N070 S500 F=100 M3	stanovení otáček
N080 G0 Z2	najetí nástroje před kus
N090 G1 Z-11	zajetí nástroje do pilotního otvoru
N100 S=1393 F=83 M8	stanovení otáček - změna , zapnutí chlazení
N110 G1 Z-16	zavrtání do pracovní délky
N120 S=3981 F=677	stanovení otáček - změna
N130 G1 Z-160	vrtání otvoru
N140 S500	stanovení otáček - změna
N150 M9	vypnutí chlazení
N160 G1 Z5 F2000	výjezd zpět
N170 M0	konec programu

3.9 Průběh experimentu

Navrtání pilotních otvorů do materiálu vrtákem A6181TFT-8

Prvním bodem experimentu bylo navrtat do materiálu pilotní otvory do hloubky 12 mm, které slouží jako vedení při dalším vrtání nástroji pro hluboké vrtání. Vrtání těchto otvorů bylo provedeno bez přerušení, tzn., že všechny otvory byly provedeny najednou (viz obr. 3.15).

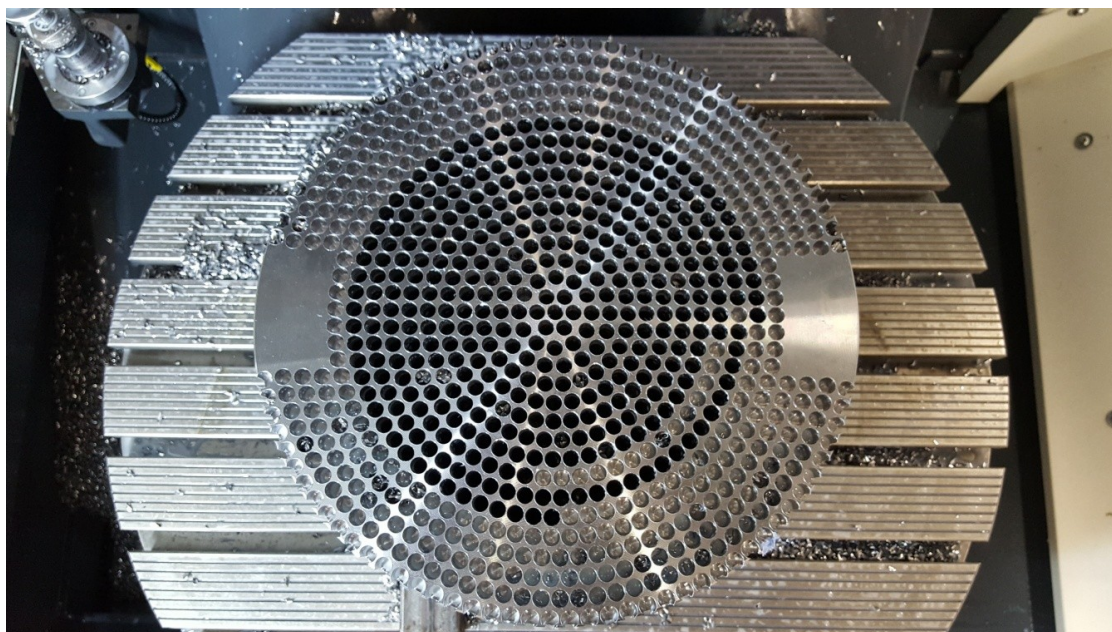


Obr. 3.15 Navrtané pilotní otvory vrtákem A6181TFT-8

Průběh vrtání vrtákem A6785TFP-8 a DC170-20-08.000A1-WJ30EJ

Druhou částí experimentu bylo vrtání nástrojem DC170. Vrták najížděl do předvrtaných otvorů sníženými otáčkami a posuvem. Teprve až dosáhl požadované hloubky –12 mm, otáčky a posuv se zvýšily na pracovní hodnoty (viz tab. 3.5) a také došlo k zapnutí chlazení nástroje. V hloubce –160 mm v ose Z došlo opět ke změně otáček na menší hodnotu, vypnutí chlazení a posuv se zvýšil při výjezdu nástroje zpět do výchozího bodu na hodnotu rychloposuvu. Tento proces se opakoval a po každém desátém otvoru byl kontrolován průběh opotřebení až do stavu, kdy třísky svým tvarem vykazovaly opotřebení na čele nástroje. V tuto chvíli bylo vrtání ukončeno, protože hrozilo při dalším vrtání zničení nástroje (viz obr. 3.16).

Třetím bodem bylo vrtání nástrojem A6785TFP-8. Tento proces vrtání byl stejný jako s předcházejícím nástrojem DC170. I ukončení vrtání mělo stejný důvod, a to nepříznivý tvar třísek a vznik opotřebení na čele (viz obr. 3.17).



Obr. 3.16 Vyvrtané otvory řeznými nástroji A6785TFP-8 a DC170



Obr. 3.17 Tvary třísek u vrtaných otvorů

4 Experimentální měření a zhodnocení

Cílem diplomové práce je experimentální testování vrtáku DC170 s unikátní geometrií a obvodovými drážkami pro odvod procesní kapaliny. Aby tento experiment byl úplný, je potřeba veškeré získané údaje z testování obou nástrojů zpracovat jak po stránce technologické, tak ekonomické. Veškeré tyto údaje jsou potřebné nejen pro výrobce (firmu Walter AG), tak pro uživatele těchto nástrojů.

4.1 Průběh měření opotřebení

Průběh měření opotřebení u nástroje DC170-20-08.000A1-WJ30EJ se prováděl po 10., 20.,... 120., 140.,... 200., 220.,... 270. a 275. vyvrtaném otvoru. Vzhledem k tomu, že se z počátku opotřebení neprojevovalo, byl po 120. vyvrtaném otvoru zvýšen interval měření na 20 vrtaných otvorů. Poté kontrola probíhala až do počtu 220 vyvrtaných otvorů. Na základě údajů předpokládané životnosti nástroje, které udává výrobce pro daný obráběný materiál, jsme se vrátili ke kontrole nástroje po 10 otvorech až do konečného počtu 275 vyvrtaných otvorů, kdy se projevilo nepříznivé utváření třísky.

Průběh měření opotřebení u nástroje A6785TFP-8 se provádělo po 10., 20.,... 110. a 120. vyvrtaném otvoru, kdy se projevilo nepříznivé utváření třísky. Důvod měření opotřebení u tohoto vrtáku po 10 vyvrtaných otvorech byl, že se předpokládala menší trvanlivost v porovnání s vrtákem DC170-20-08.000A1-WJ30EJ i přesto, že oba nástroje jsou určené pro hluboké vrtání.

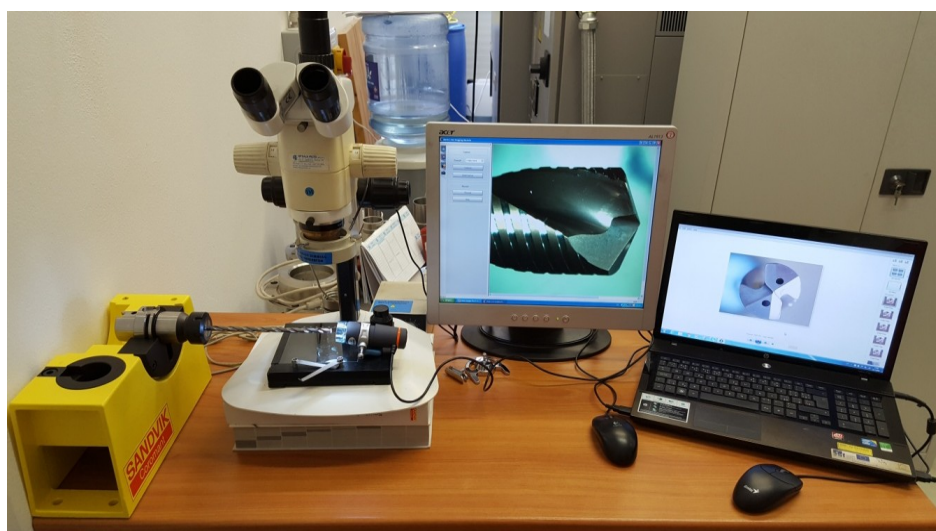
4.2 Přístroje k měření opotřebení

Opotřebení bylo měřeno stacionárním mikroskopem společně s ručním digitálním mikroskopem (viz obr. 4.1). Kalibrace mikroskopů byla provedena před měřením pomocí kalibračních měrek v osách X a Y.

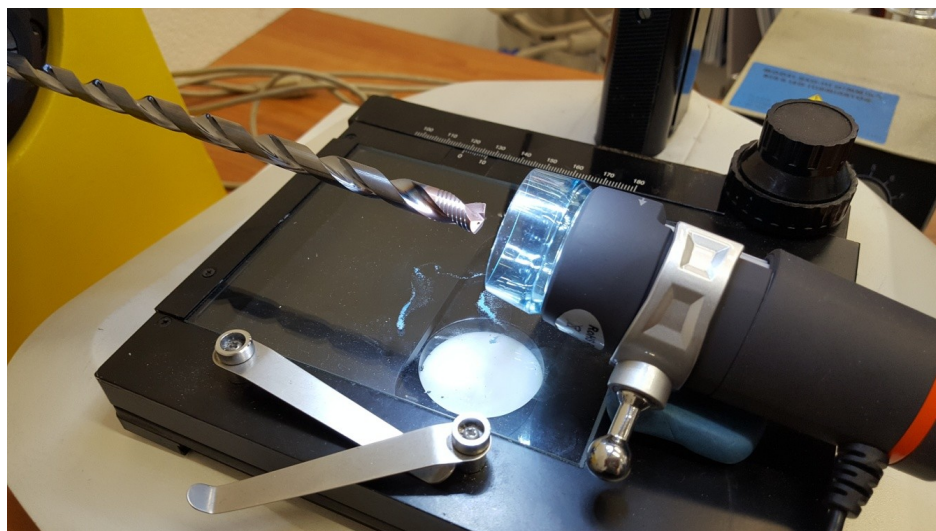


Obr. 4.1 Záznamové zařízení – stacionární mikroskop a ruční digitální mikroskop

Stacionární mikroskop zaznamenával opotřebení na čele, kdežto ruční mikroskop na hřbetu nástroje. Veškerá data z těchto mikroskopů byla uložena pomocí programu Motic Images Plus 2.0 do dvou počítačů (viz obr. 4.2 a 4.3).



Obr. 4.2 Ukládání dat ze záznamového zařízení do počítačů; levá obrazovka snímala opotřebení na čele, pravá na hřbetě



Obr. 4.3 Kontrola opotřebení hřbetu vrtáku DC170 ručním digitálním mikroskopem

4.3 Popis mikroskopů

Stereoskopické mikroskopy jsou přístroje pro sledování nejrůznějších předmětů bez dalších úprav v plastickém (trojrozměrném) obraze. Stereoskopické mikroskopy jsou využívány od hobby činností přes školství až po oblast průmyslovou, servisní, botanickou, zoologickou, mineralogickou, vědeckou i další oblasti.

Stereomikroskopy jsou koncipovány na stavebnicovém systému. Kteroukoliv ze stereohlavic lze umístit na libovolný stereostativ, případně doplnit osvětlovacím systémem (viz obr. 4.4). Technické údaje jsou uvedeny v tabulkách 4.1 a 4.2. [20]



Obr. 4.4 Stereohlavice Model STM 722 a Stereostativ Model ST 3230 [20]

Digitální mikroskop Deluxe umožňuje focení a nahrávání videa přes dodávaný software. Mikroskop je znázorněný na obr. 4.5. Technické údaje jsou uvedeny v tab. 4.3. [21]



Obr. 4.5 Celestron ruční digitální Mikroskop II (44302 - A, B) [21]

Tab. 4.1: Technické údaje stereohlavice [20]

Stereohlavice Model STM 722	
Zorné pole	s okuláry WF 10× / ø 28,6–4,4 mm; s okuláry WF 20× / ø 14–2,2 mm
Okulár	WF 10×/20 mm (2 ks); WF 20×/10 mm (2 ks)
Hlavice	binokulární otočná o 360°, úhel vzhledu 45°; oční rozestup 55–75 mm, dioptrické doostření obou okulárů, očné (2 ks), násuvný průměr hlavice 76 mm
Objektivy	pevně zabudovaný 1:1
Celkové zvětšení	s okuláry WF 10×: 7×–45×; s okuláry WF 20×: 14×–90×
Zaostřování	na stativu
ZOOM	plynulý 0,7×–4,5×; poměr ZOOMu 1:6,4
Pracovní vzdálenost	100 mm
Rozměry přístroje	výška: 265 mm, šířka: 165 mm, hloubka: 160 mm, hmotnost: 2,4 kg

Tab. 4.2: Technické údaje stereostativu [20]

Stereostativ Model ST 3230	
Základna	Al slitina (š = 330, h = 305, v = 21mm)
Rameno	pevné vertikální s držákem hlavice ø 83 mm, délka ramene 330 mm, max. vzdálenost hlavice-stůl 250 mm
Zaostřování koaxiální	makro a mikroposuv (pastorek-hřebínek)
Stůl	Al slitina 210 × 200 mm, vzdálenost od středu podložní desky k rameni 130 mm, pérové držáky preparátu, podložní deska černobílá ø 99 mm
Osvětlení	bez osvětlení
Rozměry	výška: 354 mm, šířka: 330 mm, hloubka: 305 mm, hmotnost: 3,6 kg

Tab. 4.3: Technické údaje Celestron ruční digitální Mikroskop II [21]

Celestron ruční digitální Mikroskop II	
Zvětšení	10×–40× až 150×
Osvětlení	LED
Připojení i napájení	přes USB 2.0 kabel
Kamera	2 MP
Možnost focení a nahrávání videa	přes dodávaný software (pro OS Windows XP/Vista/7)
Stojan	kovový
Rozměry	108 mm × 32 mm
Hmotnost	113 g

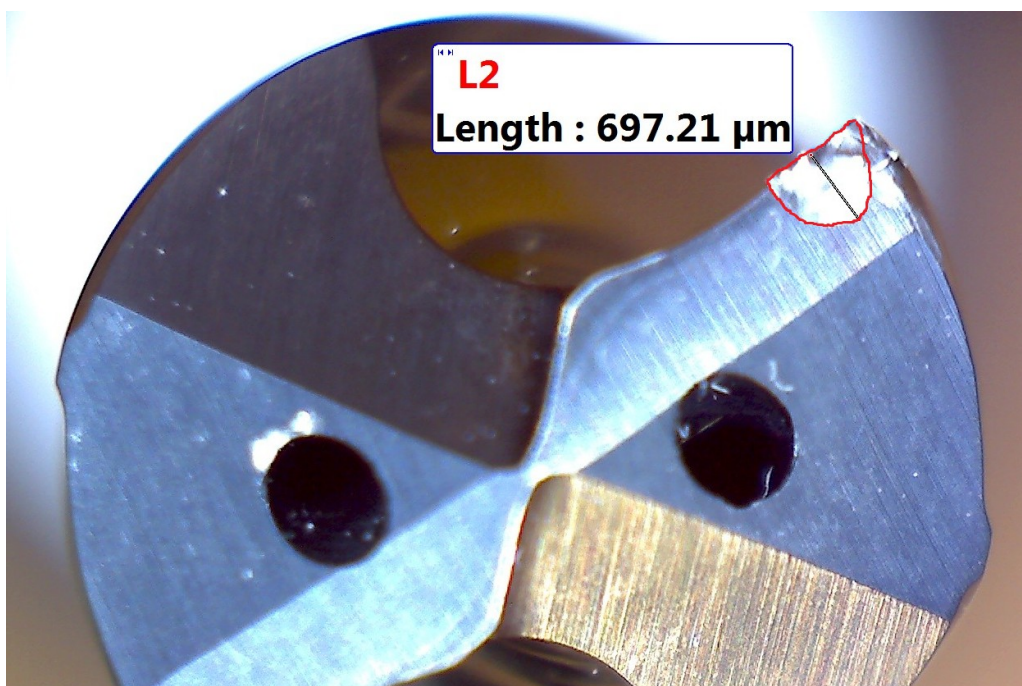
4.4 Vyhodnocení opotřebení nástrojů měřením

Výsledné opotřebení nástrojů na hřbetní a čelní ploše bylo vyhodnoceno pomocí počítačového programu Motic Images Plus 2.0. Pro lepší představu o velikosti opotřebené plochy bylo vyhodnocení provedeno ve dvou osách. Opotřebení se vztahuje k trvanlivosti nástrojů – ve vztahu k počtu odvrtných otvorů, při kterém se začala nepříznivě utvářet tříska.

Z měření vyplývá, že větší opotřebení na hřbetní ploše je u nástroje A6785TFP (viz obr. 4.6), kdežto opotřebení nástroje DC170 (viz obr. 4.7) je o něco menší při větším počtu odvrtných otvorů.

Výsledky opotřebení na čelní ploše jsou stejné, jako u opotřebení na ploše hřbetní. Větší opotřebení vykazuje nástroj A6785TFP (viz obr. 4.8 a 4.9) a menší DC170 (viz obr. 4.10 a obr. 4.11).

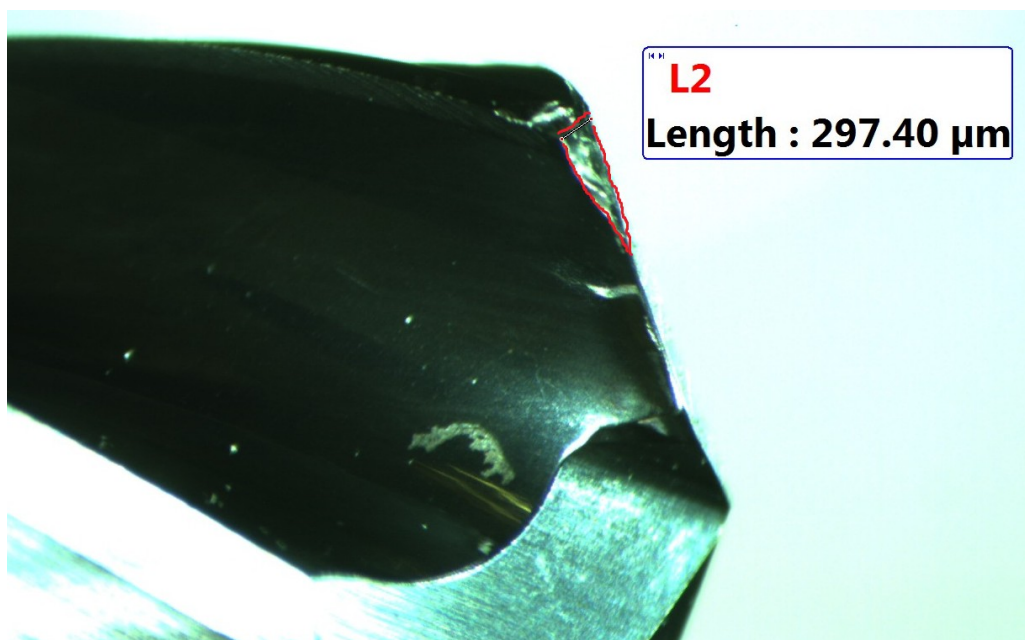
Naměřené hodnoty opotřebení na hřbetě a na čele jsou uvedeny v tabulce 4.4.



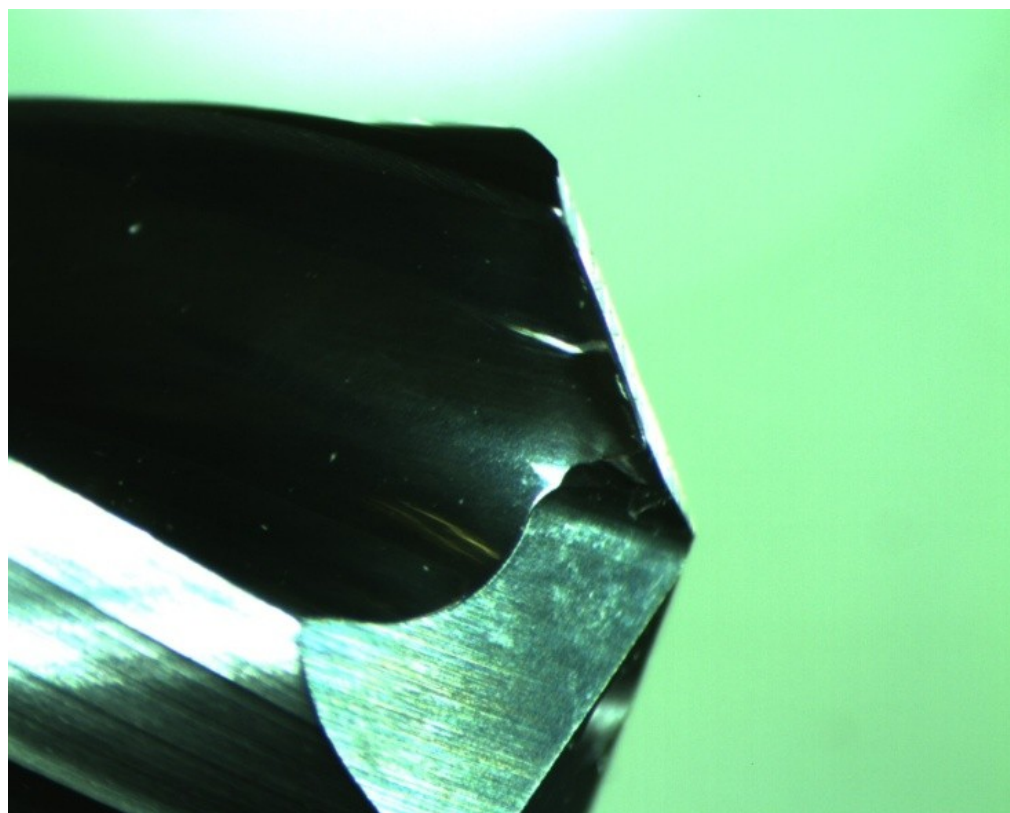
Obr. 4.6 A6785TFP – výsledné opotřebení na hřbetě



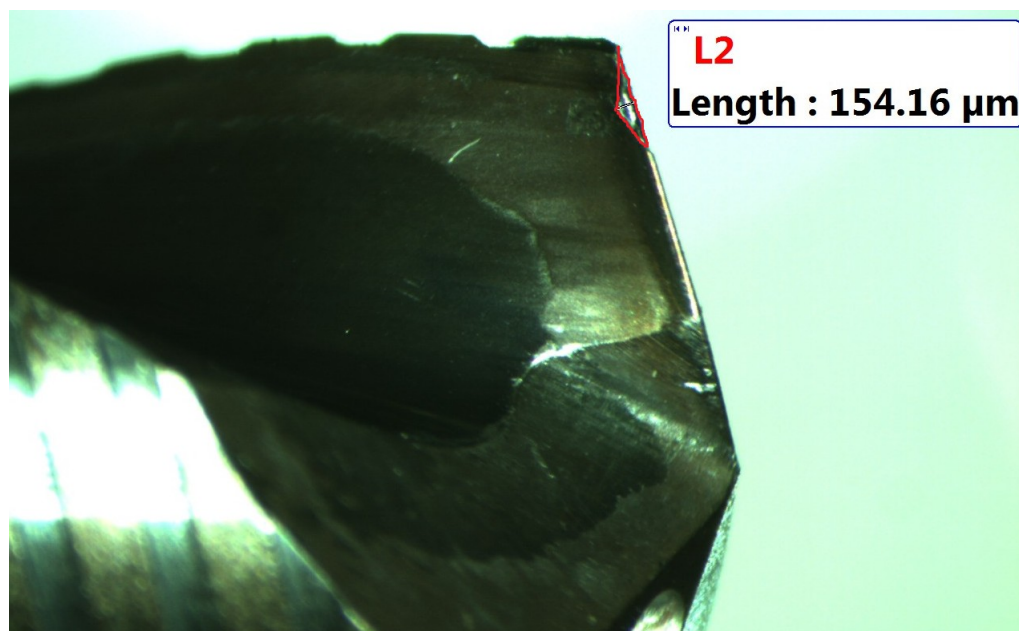
Obr. 4.7 DC170 – výsledné opotřebení hřbetu



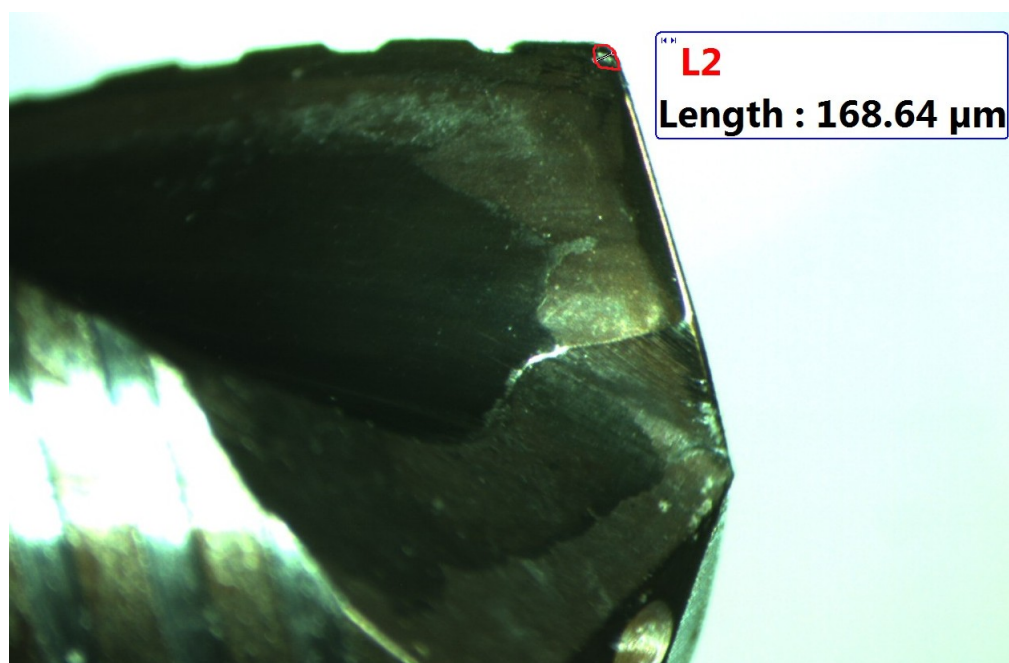
Obr. 4.8 A6785TFP – výsledné opotřebení čela na břitu 1



Obr. 4.9 A6785TFP – výsledné opotřebení čela na břitu 2



Obr. 4.10 DC170 – výsledné opotřebení čela na břitu 1



Obr. 4.11 DC170 – výsledné opotřebení čela na břitu 2

Tab. 4.4: Naměřené hodnoty opotřebení

nástroj	Velikost opotřebení [μm]		
	Hřbet	Čelo na břitu 1	Čelo na břitu 2
A6785TFP	697,21	297,40	–
DC170	493,90	154,16	168,64

4.5 Měření parametrů drsnosti povrchu ve vyvrtaných otvorech

Měření parametrů drsnosti povrchu v otvorech byla dalším hodnoticím kritériem experimentu. Jednotlivá měření u plochy obrobenej nástrojem A6785TFP-8 byla provedena v otvorech č. 1, 50, 100 a 120. U nástroje DC170-20-08.000A1-WJ30EJ ještě navíc v otvorech č. 200 a č. 275. Před měřením byla odebrána vrstva materiálu 12 mm na vstupní části polotovaru, která odpovídá hloubce pilotního otvoru. Parametry drsnosti povrchu otvorů byly měřeny pětkrát, a to na vstupu a výstupu. Sledovány byly parametry drsnosti povrchu Ra a Rz.

4.6 Použité zařízení pro měření parametrů drsnosti povrchu

Pro měření parametrů drsnosti obrobeneho povrchu byl použit drsnoměr Surftest SJ – 210 (viz obr. 4.12). Základní technické parametry jsou uvedeny v tab. 4.5.



Obr. 4.12 Drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ – 210 [23]

Tab. 4.5: Technické parametry drsnoměru Surftest SJ – 210 [23]

Technické parametry	Popis	Rozměr/ bližší informace	Jednotky
posuvová jednotka	rozsah měření	16	[mm]
	příčný směr	17,5	[mm]
	rychlost měření	0,25; 0,5; 0,75	[mm/s]
snímač	snímací metoda	diferenciální indukčnost	[–]
	rozsah měření	360	[μm]
	snímací dotek	diamantový hrot	[–]
	poloměr patky měření	40	[mm]
vyhodnocovací jednotka	Profily	profil drsnosti (R), R-Motif, DF - Profil, atd.	[–]
	etalon drsnosti	EN ISO, VDA, JIS, ANSI, nebo vlastní nastavení	[–]
	digitální filtr	Gauss, 2CR75, PC75	[–]
	délka cut-off	λ_c : 0,08; 0,25; 0,8; 2,5 λ_s : 2,5; 8	[mm]
			[μm]
	vyhodnocení tolerance	barevné horní/dolní meze	[–]
	Rozhraní	USB, Digimatic, RS-232C, nožní spínač	[–]
	Napájení	dobíjecí baterie, nebo síťová adaptér	[–]
	Hmotnost	500	[g]

4.7 Parametry drsnoměru

Při měření parametrů drsnosti R_a a R_z byly nastaveny parametry uvedené v tab. 4.6.

Tab. 4.6: Nastavení parametrů měřicího přístroje

ISO 1997	
Profil drsnosti	R
Parametry	2
Filtr	GAUSS
λ_c [mm]	2,5
λ_s [μm]	8
Rychlost měření [mm·s ⁻¹]	0,5

4.8 Naměřené hodnoty parametrů drsností povrchů

Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu na obrobených plochách jsou uvedeny v tabulce 4.7.

Tab. 4.7: Naměřené hodnoty parametrů Ra, Rz; nástroj A6785TFP – vstup do otvoru

Číslo měření	Otvor 1	Otvor 1	Otvor 50	Otvor 50	Otvor 100	Otvor 100	Otvor 120	Otvor 120
i	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
1.	2,073	19,029	1,234	7,479	1,469	7,538	0,738	4,542
2.	1,405	10,349	1,215	7,820	1,520	7,972	0,805	4,549
3.	1,388	10,307	1,236	8,033	1,496	7,795	0,845	4,852
4.	1,383	10,266	1,219	7,910	1,365	7,229	0,828	4,641
5.	1,389	10,397	1,221	7,834	1,400	7,198	0,828	4,509
Σ	7,638	60,348	6,125	39,076	7,250	37,732	4,044	23,093
Aritmetický průměr	1,528	12,070	1,225	7,815	1,450	7,546	0,809	4,619

Naměřené hodnoty parametrů drsnosti Ra a Rz pro oba vrtáky a všechny otvory (na vstupu a na výstupu) jsou uvedeny v příloze C.

Vzor výpočtu výběrového průměru a směrodatné odchylky je znázorněn na parametrech drsnosti povrchu vrtaného otvoru nástrojem A6785TFP-8 na vstupu do prvního otvoru.

a) Výběrový průměr

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.1)$$

Parametr drsnosti Ra

$$\bar{x}_{Ra} = \frac{1}{5} \cdot 7,638$$

$$\bar{x}_{Ra} = 1,528 \mu\text{m}$$

Parametr drsnosti Rz

$$\bar{x}_{Rz} = \frac{1}{5} \cdot 60,348$$

$$\bar{x}_{Rz} = 12,070 \mu\text{m}$$

b) Výběrová směrodatná odchylka

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (4.2)$$

Parametr drsnosti Ra

$$\Delta_{Ra_1} = (R_{a_1} - \bar{x}_{Ra})^2 = (2,073 - 1,528)^2 = 0,297 \mu\text{m}^2$$

$$\Delta_{Ra_2} = (R_{a_2} - \bar{x}_{Ra})^2 = (1,405 - 1,528)^2 = 0,015 \mu\text{m}^2$$

$$\Delta_{Ra_3} = (R_{a_3} - \bar{x}_{Ra})^2 = (1,388 - 1,528)^2 = 0,019 \mu\text{m}^2$$

$$\Delta_{Ra_4} = (R_{a_4} - \bar{x}_{Ra})^2 = (1,383 - 1,528)^2 = 0,021 \mu\text{m}^2$$

$$\Delta_{Ra_5} = (R_{a_5} - \bar{x}_{Ra})^2 = (1,389 - 1,528)^2 = 0,019 \mu\text{m}^2$$

Parametr drsnosti Rz

$$\Delta_{Rz_1} = (R_{z_1} - \bar{x}_{Rz})^2 = (19,029 - 12,070)^2 = 48,433 \mu\text{m}^2$$

$$\Delta_{Rz_2} = (R_{z_2} - \bar{x}_{Rz})^2 = (10,349 - 12,070)^2 = 2,960 \mu\text{m}^2$$

$$\Delta_{Rz_3} = (R_{z_3} - \bar{x}_{Rz})^2 = (10,307 - 12,070)^2 = 3,107 \mu\text{m}^2$$

$$\Delta_{Rz_4} = (R_{z_4} - \bar{x}_{Rz})^2 = (10,266 - 12,070)^2 = 3,253 \mu\text{m}^2$$

$$\Delta_{Rz_5} = (R_{z_5} - \bar{x}_{Rz})^2 = (10,397 - 12,070)^2 = 2,798 \mu\text{m}^2$$

Rozdíly naměřených a průměrových hodnot výběrových odchylek pro parametry drsnosti povrchu Ra a Rz jsou uvedeny v tab. 4.8.

Tab. 4.8: Rozdíl naměřené a průměrové hodnoty

	ΔRa	ΔRz
jednotka	[μm]	[μm]
1.	0,297	48,433
2.	0,015	2,960
3.	0,019	3,107
4.	0,021	3,253
5.	0,019	2,798
Σ	0,372	60,551

Parametr drsnosti Ra

$$S_{Ra} = \sqrt{\frac{\sum \Delta R_a}{n - 1}} \quad (4.3)$$

$$S_{Ra} = \sqrt{\frac{0,372}{4}}$$

$$S_{Ra} = 0,305 \text{ } \mu\text{m}$$

Parametr drsnosti Rz

$$S_{Rz} = \sqrt{\frac{60,551}{4}}$$

$$S_{Rz} = 3,891 \text{ } \mu\text{m}$$

c) Směrodatná odchylka dílčích aritmetických průměrů

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (4.4)$$

Parametr drsnosti Ra

$$S_{(\bar{Ra})} = \frac{0,305}{\sqrt{5}}$$

$$S_{(\bar{Ra})} = 0,136 \text{ } \mu\text{m}$$

Parametr drsnosti Rz

$$S_{(\bar{Rz})} = \frac{3,891}{\sqrt{5}}$$

$$S_{(\bar{Rz})} = 1,740 \text{ } \mu\text{m}$$

d) Kombinovaná standardní nejistota

$$U_c = k \cdot U_A = k \cdot s_{(\bar{R})} \quad (4.5)$$

k – studentův koeficient pro správnost výsledku s pravděpodobností 95%
a počtem měření $n=5$ je $k=2,640$

Parametr drsnosti Ra

$$U_{Ra} = 2,640 \cdot 0,136$$

$$U_{Ra} = 0,360 \text{ } \mu\text{m}$$

Parametr drsnosti Rz

$$U_{Rz} = 2,640 \cdot 1,740$$

$$U_{Rz} = 4,594 \mu\text{m}$$

e) Naměřené hodnoty

Parametr drsnosti Ra

$$Ra = (\bar{x}_{Ra} \pm U_{Ra}) \quad (4.6)$$

$$Ra = (1,528 \pm 0,360) \mu\text{m}$$

Parametr drsnosti Rz

$$Rz = \bar{x}_{Rz} \pm U_{Rz} \quad (4.7)$$

$$Rz = (12,070 \pm 4,594) \mu\text{m}$$

Výpočty pro všechny hodnoty výběrového průměru a směrodatné odchylky jsou uvedeny v příloze C.

V tab. 4.9 jsou uvedeny výsledky měření parametrů drsnosti Ra a Rz s nejistotou měření na obrobených plochách po vrtání nástrojem A6785TFP na vstupu.

Tab. 4.9: Výsledky měření parametrů drsnosti Ra a Rz – A6785TFP na vstupu

číslo otvoru	Ra [μm]	Rz [μm]
1	$1,528 \pm 0,360$	$12,070 \pm 4,594$
50	$1,225 \pm 0,011$	$7,815 \pm 0,243$
100	$1,450 \pm 0,077$	$7,546 \pm 0,403$
120	$0,809 \pm 0,050$	$4,619 \pm 0,165$

V tab. 4.10 jsou uvedeny výsledky měření parametrů drsnosti Ra a Rz s nejistotou měření na obrobených plochách po vrtání nástrojem A6785TFP na výstupu.

Tab. 4.10: Výsledky měření parametrů drsnosti Ra a Rz – A6785TFP na výstupu

číslo otvoru	Ra [μm]	Rz [μm]
1	$1,929 \pm 0,534$	$14,291 \pm 3,197$
50	$0,948 \pm 0,400$	$9,345 \pm 2,061$
100	$1,189 \pm 0,345$	$7,554 \pm 0,229$
120	$0,606 \pm 0,337$	$4,129 \pm 1,878$

V tab. 4.11 jsou uvedeny výsledky měření parametrů drsnosti Ra a Rz s nejistotou měření na obrobených plochách po vrtání nástrojem DC170 na vstupu.

Tab. 4.11: Výsledky měření parametrů drsnosti Ra a Rz – DC170 na vstupu

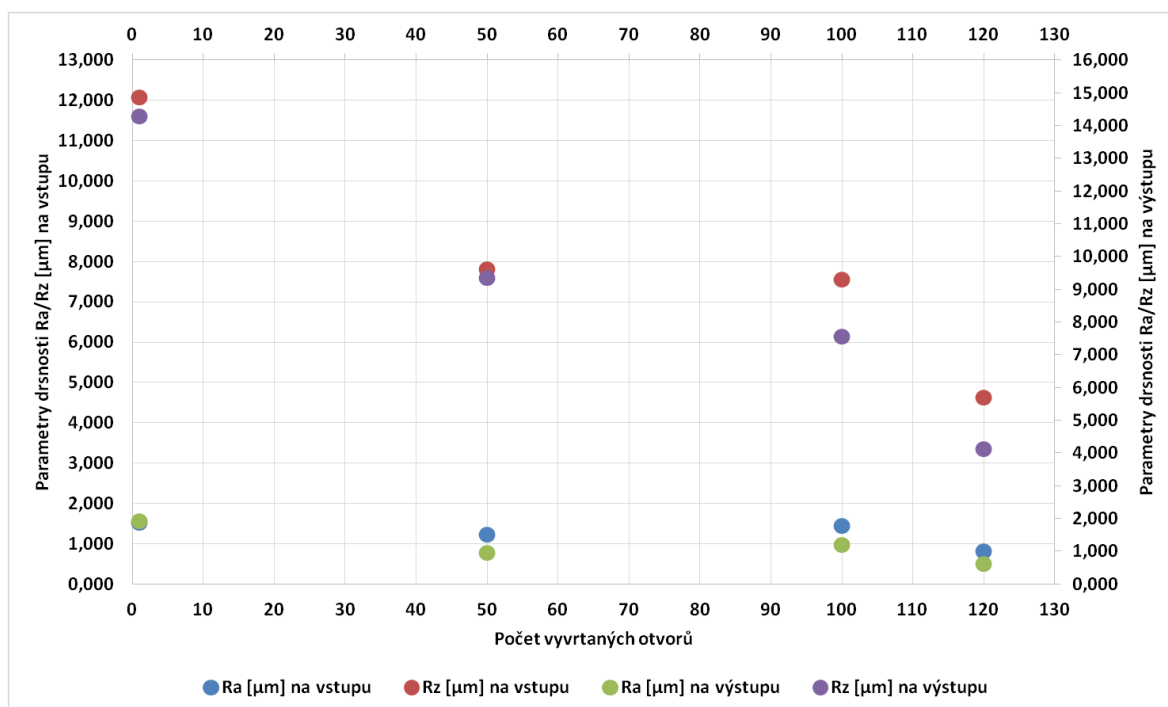
číslo otvoru	Ra [μm]	Rz [μm]
1	$1,128 \pm 0,531$	$9,891 \pm 3,993$
50	$0,875 \pm 0,463$	$5,224 \pm 3,438$
100	$1,617 \pm 0,271$	$10,930 \pm 4,547$
120	$1,533 \pm 0,975$	$8,106 \pm 4,649$
200	$0,778 \pm 1,032$	$4,740 \pm 6,316$
275	$0,902 \pm 1,193$	$5,882 \pm 7,809$

V tab. 4.12 jsou uvedeny výsledky měření parametrů drsnosti Ra a Rz s nejistotou měření na obrobených plochách po vrtání nástrojem DC170 na výstupu.

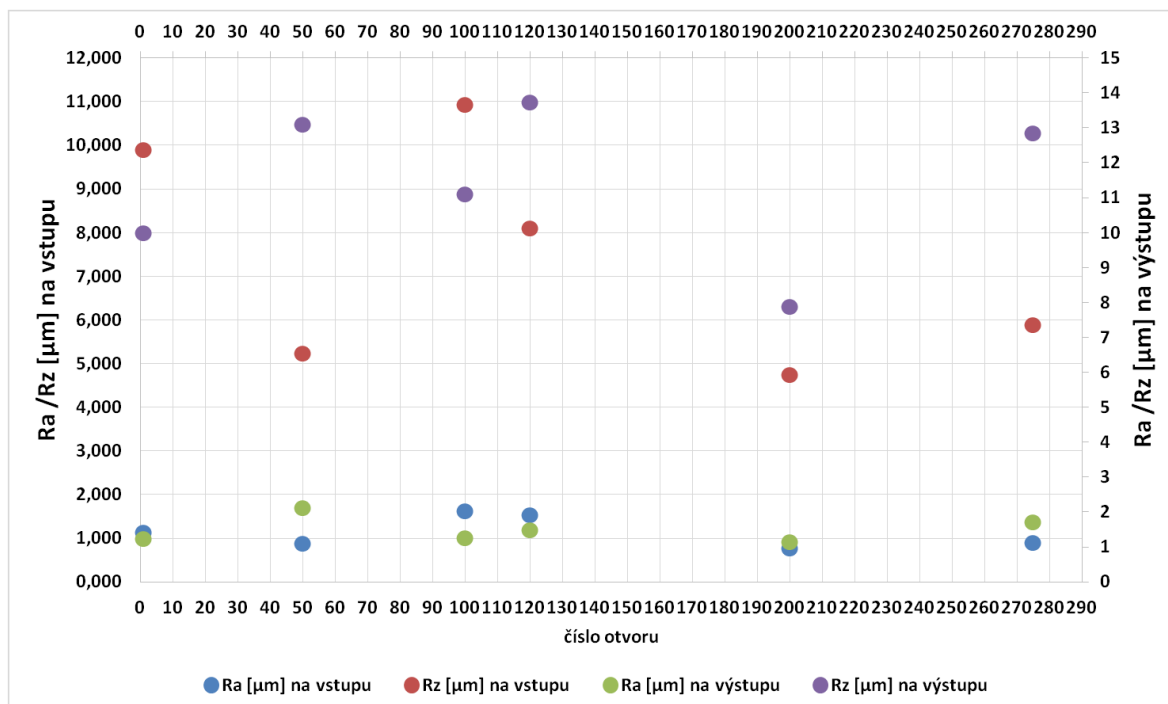
Tab. 4.12: Výsledky měření parametrů drsnosti Ra a Rz – DC170 na výstupu

číslo otvoru	Ra [μm]	Rz [μm]
1	$1,243 \pm 0,390$	$9,983 \pm 2,938$
50	$2,126 \pm 1,223$	$13,104 \pm 7,127$
100	$1,257 \pm 0,294$	$11,109 \pm 4,884$
120	$1,486 \pm 0,897$	$13,721 \pm 12,029$
200	$1,154 \pm 1,551$	$7,872 \pm 10,502$
275	$1,721 \pm 2,281$	$12,842 \pm 16,990$

Graf 4.1: Porovnání hodnot parametrů drsnosti povrchu Ra a Rz na vstupu a výstupu nástroje A6785TFP



Graf 4.2: Porovnání hodnot parametrů drsnosti povrchu Ra a Rz na vstupu a výstupu nástroje DC170



5 Technicko-ekonomické zhodnocení

V experimentální části této práce bylo popsáno testování dvou nástrojů – A6785TFP a DC170. Oba vrtáky jsou určeny pro hluboké vrtání a pro opracování stejných materiálů, liší se však od sebe konstrukcí. Nástroje lze porovnat technicko-ekonomickým zhodnocením vycházejícím z pořizovací ceny, nákladů na přestření a jejich trvanlivosti a životnosti.

5.1 Pořizovací cena nástrojů

Základní ceny nástrojů bez DPH (ceník pro rok 2016) jsou uvedeny v tab. 5.1.

Tab. 5.1: Základní ceny 2016

Nástroj:	Cena:
A6785TFP-8	8 161 Kč
DC170-20-08.000A1-WJ30EJ	9 037 Kč

5.2 Přestření nástrojů a jejich životnost

Nástroje A6181TFT-8 a A6785TFP-8 mohou být přestřeny a povlakovány celkem třikrát a firma Walter garantuje, že nedojde k omezení jejich výkonu. Poté už další renovaci nedoporučuje, protože během procesu vrtání a následných ostření dochází k mikrotrhlinám v karbidu nástroje.

Nástroj DC170-20-08.000A1-WJ30EJ má po svém obvodu osm radiálních drážek. Tyto mělké drážky umožňují nejenom nepřerušovaný tok procesní kapaliny a efektivní odvod vysoké teploty z místa řezu, ale také přehled o počtu již provedených přestření nástroje. Nástroj může být pětkrát ostřen, přičemž tři drážky musí zůstat na nástroji pro zachování funkčnosti vrtáku.

5.3 Náklady na přestření a povlakování nástrojů

Firma Walter uvádí, že cena jednoho přestření a povlakování nástrojů je 30 % z pořizovací ceny nástroje. Náklady na renovaci nástrojů jsou uvedeny v tab. 5.2.

Tab. 5.2: Náklady na renovaci nástrojů A6785TFP a DC170

Počet renovací nástroje:	1 ×	3 ×	5 ×
Nástroj:	Cena:	Cena:	Cena:
A6785TFP-8	2 448,30 Kč	7 344,90 Kč	–
DC170-20-08.000A1 WJ30EJ	2 711,10 Kč	8 133,30 Kč	13 555,50 Kč

5.4 Cena jednoho vyvrtaného otvoru ve vztahu k trvanlivosti a životnosti nástroje

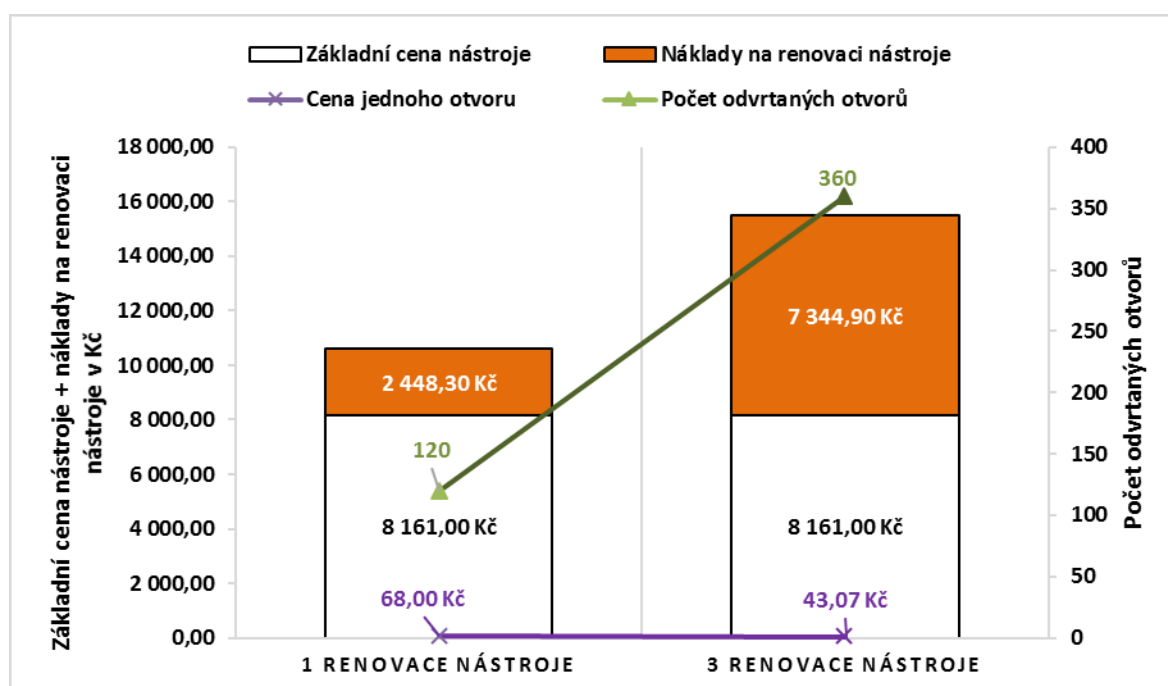
Trvanlivost byla vyjádřena počtem vyvrtaných otvorů do otupení vrtáku, kdežto možnost opětovného přestřeni a povlakování nám udává životnost. V tab. 5.3 a 5.4 jsou uvedeny ceny za jeden vyvrtaný otvor ve vztahu k trvanlivosti a životnosti nástrojů. Díky této skutečnosti je cena jednoho vyvrtaného otvoru nižší, než kalkulovaná cena otvoru do prvního otupení (trvanlivosti) nástroje.

Tab. 5.3: Cena jednoho vyvrtaného otvoru A6785TFP

A6785TFP	trvanlivost	životnost
Počet odvrtných otvorů	120	360
Náklady na nástroj	8 161,00 Kč	15 505,90 Kč
Cena jednoho otvoru	68,00 Kč	43,07 Kč

Následující graf 5.1 je vyjádřením hodnot zachycených v tabulkách 5.1, 5.2 a 5.3.

Graf 5.1: Celkové náklady nástroje A6785TFP včetně počtu odvrtných otvorů a ceny za jeden otvor

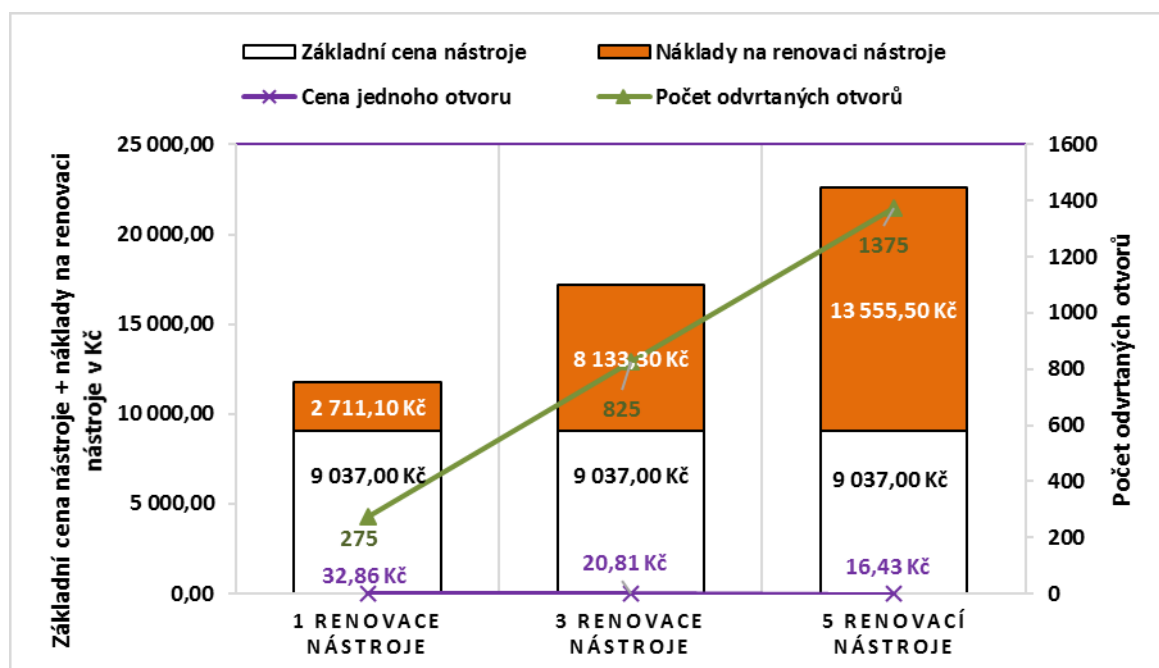


Tab. 5.4: Cena jednoho vyvrtaného otvoru DC170

DC170	trvanlivost	životnost
Počet odvrtaných otvorů	275	1 375
Náklady na nástroj	9 037,00 Kč	22 592,50 Kč
Cena jednoho otvoru	32,86 Kč	16,43 Kč

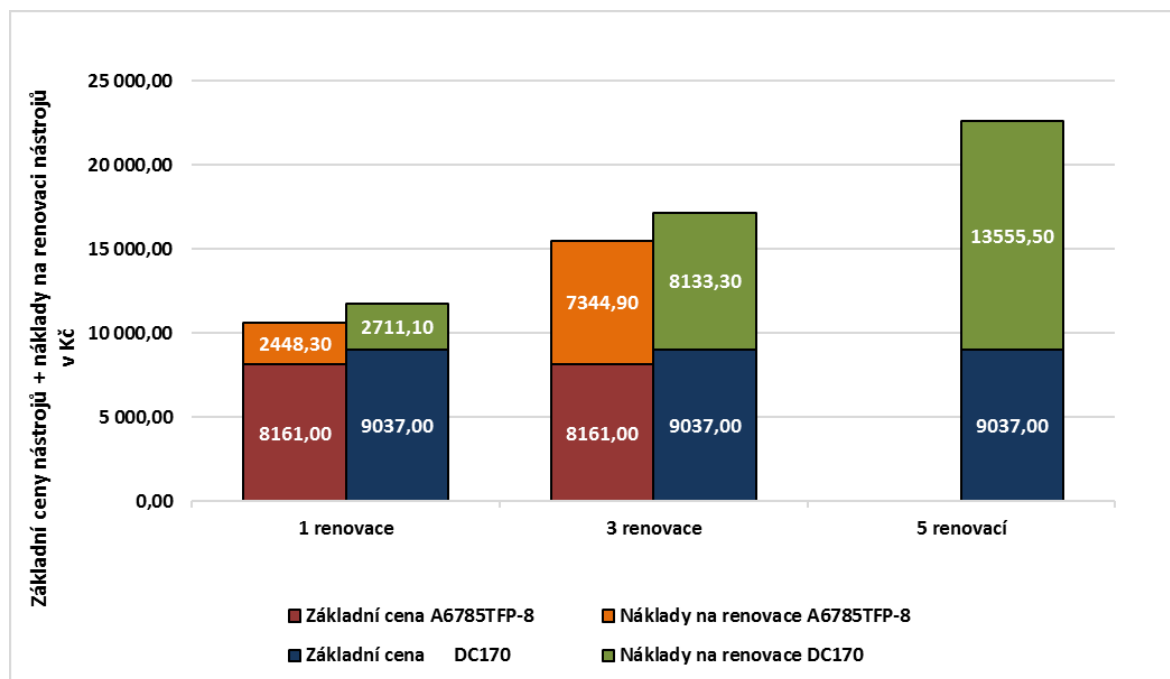
Následující graf 5.2 je vyjádřením hodnot zachycených v tabulkách 5.1, 5.2 a 5.4.

Graf 5.2: Celkové náklady nástroje DC170 včetně počtu odvrtaných otvorů a ceny za jeden otvor



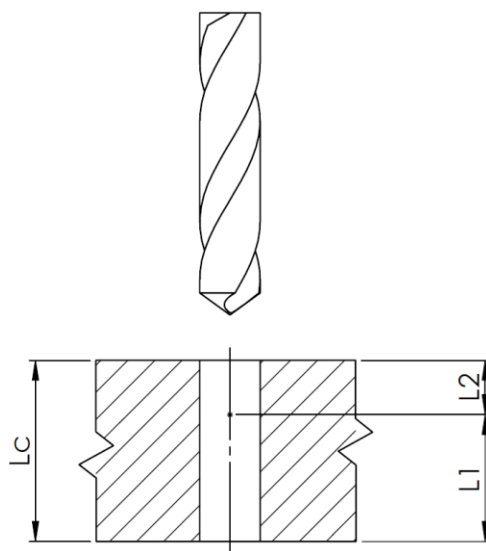
Graf 5.3 srovnává výsledné hodnoty obou vrtáků dosažených experimentálním vrtáním. Data jsou uvedena v tabulkách 5.1 a 5.2.

Graf 5.3: Srovnání celkových nákladů obou vrtáků



Přepočet vyvrtaných otvorů na délku vrtání

Pro představu o trvanlivosti nástrojů byl počet odvrtaných otvorů přepočítán na délku (dráhu) v mm – viz tab. 5.5 a 5.6. Grafické znázornění vrtaných hloubek obecně je na obr. 5.1.



Obr. 5.1 Grafické znázornění vrtané díry

Tab. 5.5: Délka vyvrtaných otvorů A6785TFP

A6785TFP-8	
Počet vyvrtaných otvorů:	120
Hloubka pilotního vrtání – L_2	12 mm
Hloubka vrtání – L_c	160 mm
Hloubka vrtání A6785TFP-8 – L_1	148 mm
Σ dráha (vrtání)	$120 \times 148 = 17\,760$ mm

Tab. 5.6: Délka vyvrtaných otvorů DC170

DC170-20-08.000A1-WJ30EJ	
Počet vyvrtaných otvorů:	275
Hloubka pilotního vrtání – L_2	12 mm
Hloubka vrtání – L_c	160 mm
Hloubka vrtání DC 170 – L_1	148 mm
Σ dráha (vrtání)	$275 \times 148 = 40\,700$ mm

6 Závěr

Pevnost a houževnatost řezných materiálů mohou být zvýšeny využitím moderních výrobních technologií, které umožňují rovnoměrnější strukturu materiálů bez defektů. Zlepšení odolnosti proti opotřebení přinášejí nové technologie povrchových úprav obráběcích nástrojů. Podstatnou částí vrtáků je jejich geometrie, ale také celková konstrukce. A právě testování a porovnání vrtáku s novou patentovanou konstrukcí byl předmětem této diplomové práce.

V teoretické části práce byla popsána technologie vrtání hlubokých otvorů. V experimentální části byly porovnány dva vrtáky o průměru 8 mm, a to nástroj starší konstrukce s označením A6785TFP a nový DC170 s unikátní geometrií a obvodovými drážkami pro odvod procesní kapaliny. Oba nástroje mohou vrtat do hloubky $20 \times D$.

K testování nástrojů byl použit materiál 1.7225 (dle ČSN 15 142, 42CrMo4) o rozměrech $\varnothing 298 \times 160$ mm a experimentální vrtání proběhlo na univerzálním frézovacím stroji DMG Mori DMU 50 v Laboratoři obrábění, Katedry obrábění, montáže a strojírenské metrologie, Fakulta strojní, VŠB – TU Ostrava, stejně jako měření drsnosti povrchu.

Prvním úkolem bylo stanovit trvanlivost obou nástrojů na základě počtu vyvrtaných otvorů. Druhým úkolem bylo vyhodnotit parametry drsnosti R_a a R_z ve vyvrtaných otvorech, a to na vstupu a výstupu otvorů. Při experimentu se postupovalo podle schémat na obr. 3.1 a obr. 3.2.

Opotřebení

Konečný stupeň opotřebení u obou vrtáků se projevil nepříznivým tvarem třísek a vznikem opotřebení na čele (viz obr. 3.17), které mělo vliv na trvanlivost. U vrtáku A6785TFP představuje trvanlivost počet vyvrtaných 120 otvorů a u vrtáku DC170 je to počet 275 vyvrtaných otvorů. Hodnoty opotřebení vrtáků A6785TFP a DC170 jsou uvedeny v tabulce 4.4.

Životnost obou vrtáků byla stanovena na základě trvanlivosti a počtu renovací (přeostření a povlakování), které jsou doporučeny výrobcem. U vrtáku A6785TFP představuje životnost 360 vyvrtaných otvorů a u vrtáku DC170 je to počet 1 375 vyvrtaných otvorů.

Mikrogeometrie obrobeného povrchu

Z grafů závislosti parametrů drsnosti Ra a Rz na počtu vyvrtaných otvorů (Graf 4.1 a 4.2) je zřejmé, že hodnoty parametrů drsnosti Ra a Rz na vstupu a výstupu jsou si hodně podobné. U vrtáku A6785TFP více, kdežto u vrtáku DC170 došlo k menšímu rozptylu parametru drsnosti Rz u 50. vyvrtaného otvoru.

Délka dráhy obrábění

Trvanlivost nástrojů představuje počet odvrtaných otvorů, které byly pro lepší představu převedeny na celkovou odvrtanou délku. Vrták A6785TFP vyvrtal dráhu o délce 17 760 mm a vrták DC170 téměř $2,3 \times$ delší dráhu, což je 40 700 mm.

Technicko-ekonomické zhodnocení

Jedna vrtaná díra vrtákem A6785TFP představuje hodnotu 68,00 Kč vzhledem k trvanlivosti a 43,07 Kč k životnosti nástroje, kdežto jedna vrtaná díra vrtákem DC170 představuje hodnotu 32,86 Kč vzhledem k trvanlivosti a 16,43 Kč k životnosti nástroje.

Další náklady na vrtáky jsou uvedeny v tabulkách 5.3 a 5.4.

Experimentální část potvrdila, že nástroj DC170 je v konečném výsledku lepší než nástroj A6785TFP.

Poděkování

Děkuji Ing. Marku Pagáčovi, Ph.D. za odborné rady, profesionální přístup a pomoc při psaní této diplomové práce.

Velký dík patří panu Aleši Koutnému, techniku firmy Walter CZ, s. r. o., za poskytnuté nástroje, materiál a odborné rady při experimentálním vrtání.

Závěrem chci poděkovat mé rodině za vytvoření těch nejlepších podmínek pro psaní této diplomové práce. Zejména děkuji dcerám Kláře a Kateřině za cenné rady.

Práce byla podpořena ze Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v rámci projektu SP2016/172 Vliv technologických parametrů na obrobený povrch a SP2016/174 Studium procesu obrábění progresivních materiálů s cílem zvýšit a podpořit vědecko-výzkumné aktivity studentů doktorských a magisterských studijních programů ve spolupráci s akademickými pracovníky.

7 Použitá literatura a elektronické zdroje

- [1] ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. Nové směry v progresivním obrábění. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2007, s. 251, ISBN 978-80-248-1505-3.
- [2] BOHUMIL DOBROVOLNÝ Soustružení kovů. Praha. Státní nakladatelství technické literatury, n. p. Praha 1, 1966, 96 stran, Typové čís. L13-B1-III-31/22153/VI.
- [3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. Technologie II 1. díl. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [4] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. Technologie II 2. díl. Ostrava: Ediční středisko VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [5] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilinská univerzita v Žilině, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [6] AB Sandvik Coromant. Příručka obrábění. Praha: Scientia, s.r.o. Praha, 1997. ISBN 91-97 22 99-4-6
- [7] ČSN ISO 1000: 1997 Jednotky SI a doporučení pro užívání jejich násobků a pro užívání některých dalších jednotek
- [8] TICHÁ, Š.: Strojírenská metrologie. část 1 - Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. 112 s. ISBN 80-248-0672-X.
- [9] Walter-Tools [online]. - [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: http://www.walter-tools.com/cs-cz/company/mission_facts/factbook/Pages/default.aspx
- [10] NAREX Ždánice [online]. - [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <https://www.narexd.cz/>

- [11] Seco Tools [online]. - [cit. 2016-05-06]. Dostupné z:
https://www.secotools.com/CorpWeb/Downloads/seconews2_2011/MN/tooling/Tooling%202012_CZ_LR.pdf
- [12] Walter-Tools [online]. - [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: http://www.walter-tools.com/cs-cz/press/media-portal/apps/wear_optimization/Pages/default.aspx
- [13] Sadvik Coromant [online]. - [cit. 2016-05-06]. Dostupné z:
http://www.sandvik.coromant.com/cs-CZ/knowledge/drilling/application_overview/deep_hole_machining/single_tube_system_sts/Pages/default.aspx
- [14] VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ [online]. - [cit. 2016-05-06].
Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [15] Sadvik Coromant [online]. - [cit. 2016-05-06]. Dostupné z:
http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/drilling/application_overview/deep_hole_machining/ejector_system/pages/default.aspx
- [16] Sadvik Coromant [online]. - [cit. 2016-05-06]. Dostupné z:
http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/drilling/application_overview/deep_hole_machining/gun_drill_system/pages/default.aspx
- [17] DMG MORI [online]. - [cit. 2016-05-06]. Dostupné z:
<http://cz.dmgmori.com/products/milling-machines/universal-milling-machines/dmu/dmu-50>
- [18] Walter-Tools [online]. - [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.walter-tools.com/cs-cz/press/media-portal/apps/e-library/Pages/default.aspx>
- [19] Walter-Tools [online]. - [cit. 2016-05-06]. Dostupné z:
https://waltertools.blaetterkatalog.de/catalogs/innovation/en/16-1/#page_1
- [20] INTRACO MICRO [online]. - [cit. 2016-05-06]. Dostupné z:
<http://www.mikroskopy-optika.cz/mikroskopy/>

- [21] SEVT [online]. - [cit. 2016-05-06]. Dostupné z:
<http://www.sevt.cz/produkt/celestron-rucni-digitalni-mikroskop-ii-44302-a-b-44705600/?gclid=CJPq-PCYs8wCFRK3GwodVkoLpw>
- [22] MM Průmyslové spektrum [online]. - [cit. 2016-05-06]. Dostupné z:
<http://www.mmspektrum.com/clanek/hluboke-vrtani-technologiei-xd.html>
- [23] microtes - Petr Moravec [online]. - [cit. 2016-05-06]. Dostupné z:
<http://www.microtes.cz/Mitutoyo/Akce-Surftest-SJ-210.pdf>

8 Seznam příloh

Příloha A: Materiálový list obráběného polotovaru

Příloha B: Technické parametry stroje

Příloha C: Výpočty hodnot výběrového průměru a směrodatné odchylky